



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA APLICADO A AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO CHANCAY HUARAL, 2025”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Patrick Jose Francisco Moya Acosta

Jhonnathan Junior Cotera Rios

Asesor:

Mg. Lic. Haniel Josue Torres Joaquin

<https://orcid.org/0000-0001-9659-4250>

Lima - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Anwar Julio Yarin Achachagua
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Alberto Santiago Palacios Miñano
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Haniel Josue Torres Joaquin
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 76 - Integrity Overview

Identificador de la entrega trn:oid::13381:89991502

19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.




Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 8 words)

Exclusions

- 9 Excluded Matches

Top Sources

- 17%  Internet sources
- 9%  Publications
- 14%  Submitted works (Student Papers)

DEDICATORIA

La elaboración de este estudio está dedicado a mi madre Patricia Acosta Rosales, por su apoyo en la trayectoria de mi carrera universitaria y a los compañeros de trabajo, que me ofrecieron su soporte para salir adelante.

Patrick Moya Acosta

A mis queridos padres, Margarita Ríos Fernández y Raúl Cotera Auca, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio. Sin ustedes, este logro no sería posible. Con gratitud y amor,

Jhonnathan Cotera Rios

AGRADECIMIENTO

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos	24
1.4. Hipótesis	24
1.5. Justificación	25
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	26
CAPÍTULO III: RESULTADOS	37
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS	60
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Relación de informes de monitoreo realizados por ANA	27
Tabla 2	Parámetros que no cumplen el ECA.....	29
Tabla 3	Índices de calidad de agua seleccionados	30
Tabla 4	Clasificación de la calidad del agua según los valores ICA.....	31
Tabla 5	Puntos de monitoreo seleccionados para el análisis de los índices de calidad	31
Tabla 6	Selección de los parámetros requeridos para la metodología ICARHS	32
Tabla 7	Parámetros utilizados para determinar el ICA-NSF	33
Tabla 8	Parámetros utilizados para determinar el ICA-Oregon	33
Tabla 9	Interpretación de la calificación ICARHS	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 10	Resultados de ICARHS en cada punto.....	47
Tabla 11	Resultado de ICARHS por cada año	48
Tabla 12	Resultado de ICA-NSF en cada punto.....	49
Tabla 13	Resultado de ICA-NSF por año	49
Tabla 14	Resultado de ICA-Oregon en cada punto.....	50
Tabla 15	Resultado de ICA-Oregon por cada año.....	51
Tabla 16	Resultados estadísticos de los ICA	52
Tabla 17	Prueba de normalidad	53
Tabla 18	Prueba de Wilcoxon	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 DBO ₅ vs ECA	38
Figura 2 DQO vs ECA.....	39
Figura 3 Oxígeno Disuelto vs ECA.....	39
Figura 4 Coliformes Termotolerantes vs ECA	40
Figura 5 pH vs ECA	41
Figura 6 Arsénico vs ECA.....	42
Figura 7 Aluminio vs ECA.....	43
Figura 8 Manganeso vs ECA.....	44
Figura 9 Cadmio vs ECA.....	45
Figura 10 Plomo vs ECA.....	46
Figura 11 Cobre vs ECA	47
Figura 12 Promedios de índices de calidad del agua.....	52
Figura 13 Resultado de parámetros en la zona alta del río Chancay Huaral	64
Figura 14 Resultado de parámetros en la zona media del río Chancay Huaral .	64
Figura 15 Resultado de parámetros en la zona baja del río Chancay Huaral	64
Figura 16 Ubicación de puntos de monitoreo.....	65

RESUMEN

El seguimiento de la calidad del agua es primordial para conocer el estado de los cuerpos hídricos y tomar decisiones adecuadas para su gestión. En ese contexto, la investigación tuvo como objetivo, comparar índices de calidad de agua, ICARHS, NSF y Oregon en las aguas superficiales del río Chancay Huaral durante el período 2021-2024, con el fin de identificar diferencias en sus evaluaciones. A través de la recolección de datos en seis puntos del río, establecidos en zona alta, media y baja, se aplicó los índices y se utilizó la prueba estadística de Wilcoxon para determinar diferencias.

Los resultados comprobaron discrepancias importantes en la clasificación de la calidad del agua. El ICARHS presentó valores más altos, con predominancia en las categorías “Buena” y “Excelente”, mientras que el ICA-NSF mostró una tendencia más equilibrada, clasificando mayormente la calidad del agua como “Buena”. Por otro lado, el ICA-Oregon arrojó los valores más bajos, calificando varios puntos de monitoreo como “Pobre” y “Muy Pobre”, debido a su mayor sensibilidad a la concentración de oxígeno y carga orgánica.

Se concluye que la metodología y los criterios de cada índice influyen en la evaluación del estado del agua, lo que resalta la importancia de seleccionar el índice más adecuado según el contexto de estudio.

PALABRAS CLAVES: ICARHS, ICA-NSF, ICA-Oregon, río Chancay Huaral.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las aguas superficiales naturales son elementos, con gran abundancia en el planeta, es asequible al ser humano, del mismo modo, conforma parte de la pluralidad de los seres vivos. Puesto que, el agua natural es crucial para la vida, las poblaciones se han desarrollado cerca de este recurso hídrico (Jacha Ayala et al., 2014).

La calidad del agua implica un valor ecológico elemental para la salud y el crecimiento económico, una óptima calidad del agua promueve la condición humana e interviene en el primer grado de la salud ambiental a nivel de las unidades familiares (Villena Chávez, 2018). El recurso hídrico no tiene sustituto, su uso irresponsable lo hace insostenible. Sudamérica es la región con mayor cantidad del recurso natural, posee el 6% de la población universal y dispone del 26% del recurso. En ese sentido, el volumen del agua que le concierne a cada persona es de 250,000 millones de litros; no obstante, solo el 3% es dulce y menos de la mitad es potable (Delgado, 2015). Las fuentes naturales de calidad de agua tales como ríos, quebradas, manantiales y acuíferos, han sido afectadas de manera negativa por diversas actividades económicas y el rápido incremento de la población, lo que ha provocado, alteraciones físicas, químicas y biológicas en los ecosistemas acuáticos (Huerta Lozada, 2023).

Los índices de calidad de agua desarrollan metodologías validas, por medio de la agrupación de variables, facilitan el proceso de interpretación de resultados. A través de un valor, se califica el estado de una corriente de agua en categorías, esto permite, tener un producto simple de entender al público, a su vez, la técnica admite contrarrestar la calidad de agua en distintas zonas de una misma unidad hidrográfica (Torres Vega, 2009).

Diversos índices de calidad de agua son utilizados en todo el mundo, países como,

Estados Unidos impulsó el ICA de National Sanitation Foundation (NSF), México el ICA de León, Canadá el CCME Water Quality (CCME WQI), España el Índice de Calidad General y demás. El uso de un índice de calidad de agua dependerá del criterio del investigador, escenarios geográficos y condiciones ambientales (García-González et al., 2021).

En Perú, la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338) estableció el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH), designando a la ANA como la entidad responsable de la gestión de los recursos hídricos. La ANA, tiene como propósito garantizar una gestión del agua integrada, al mismo tiempo, liderar acciones de monitoreo, control y supervisión en fin de la protección de las fuentes naturales de agua (ANA, 2020b).

En 2018, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH), mediante, la Resolución Jefatural N°068-2018-ANA, afirmó la "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (ANA, 2018b). Sin embargo, en 2020, con el objetivo de implementar mejoras, la metodología ICA-PE fue actualizada al "Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)" (ANA, 2020a).

Las cuencas hidrográficas, son trascendentales porque ayudan a reunir el agua dulce, un recurso clave para mantener la vida. Perú es reconocido dentro de los 20 países más ricos en agua dulce a nivel mundial, sin embargo, la distribución de este recurso es desigual dentro del país, a pesar, de contar con reservas, el acceso al agua potable continúa siendo un desafío, en especial, en regiones donde la población es más vulnerable y necesita este recurso (De la Cruz Vega et al., 2022).

Perú tiene 159 unidades hidrográficas, divididas en tres grandes regiones: Pacífico, Amazonas y Titicaca. El área de las regiones hidrográficas es 21.7% en el Pacífico, 74.5% en Amazonas y 3.8% en Titicaca. La disponibilidad hídrica es 1.8% en el Pacífico, 97.7% en Amazonas y 0.5% en Titicaca. Al mismo tiempo, la población se distribuye de manera desigual, 70% en el Pacífico, 26% en Amazonas y 4% en Titicaca. La región hídrica del Pacífico, contempla precipitaciones medias que bordean los 500 mm, mientras tanto, en la región Amazonas pueden alcanzar los 3000 mm. En la cuenca del Pacífico, la mayoría de las precipitaciones se dan durante pocos meses del año, lo que genera variabilidad del recurso hídrico, con épocas marcadas de estiaje y avenida (ANA, 2015).

La cuenca hidrográfica Chancay Huaral, está ubicada en la vertiente del Pacífico de la cordillera de los Andes, la parte alta de la cuenca Chancay Huaral presenta Andes que alcanzan los 5000 m, por otro lado, el borde litoral es un área de tierra firme, con exposición a la acción de olas marinas, debido a esto, existen bahías, ensenadas, acantilados, puntas, etc. (ANA, 2023). La unidad hidrográfica, cuenca Chancay Huaral comprende de forma parcial el departamento de Lima, en la provincia de Canta, el distrito de Huamanga, en la provincia de Huaral, los distritos de Atavillos Alto, Lampian, Ihuari, Santa Cruz De Andamarca, Veintisiete De Noviembre, San Miguel De Acos, Huaral, Aucallama, Sumbilca, Atavillos Bajo, Pacaraos, en la provincia de Huaral, el distrito de Santa Leonor y en la provincia de Lima, el distrito de Ancón (ANA, 2023).

En referencia, al clima de la cuenca Chancay Huaral, la temperatura disminuye acorde a la altitud. Asimismo, se ha identificado cuatro tipos de climas que predominan en la cuenca Chancay Huaral, muy seco, semicálido, seco y templado. En la parte alta de la cuenca, la zona de sierra presenta un clima húmedo y frío (ANA, 2023).

En Huaral, está ubicada la Reserva Nacional de Lachay con un total de 50570 hectáreas. La Flora de la parte baja de la cuenca, tiene como característica vegetación incipiente, por otro lado, la fauna silvestre es escasa, sin embargo, sobreviven algunas especies de animales asociados a áreas de cultivo, es decir, la fauna se encuentra influenciada por la existencia de zonas de actividad agrícola (ANA, 2023)

Según el Censo de población y vivienda del INEI, la cuenca Chancay Huaral tenía 183898 habitantes en 2014. La provincia de Huaral cuenta con 41 establecimientos de salud: 2 hospitales, 7 centros de salud y 32 puestos de salud. La educación en la provincia de Huaral se encuentra a cargo de la UGEL 10, la calidad de educación en la población es rural, es deficiente debido a que no ha recibido la adecuada atención por parte de las autoridades en brindar los recursos necesarios (ANA, 2023)

Los primordiales movimientos financieros identificados son, la agricultura, la ganadería, la minera, la generación de energía hidroeléctrica. En la parte baja de la cuenca, en la ciudad de Huaral, se desarrolla la actividad gastronómica, que comprende, en centros de recreación para personas que viajan desde la capital (ANA, 2023)

La evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la cuenca del río Chancay Huaral, a partir de 4 puntos de monitoreo establecidos en la cuenca, alta, media y baja, distintos a los monitoreados por ANA. Obtuvo como resultado, que el único parámetro que superó el ECA categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, subcategoría D1: Riego de vegetales, fue oxígeno disuelto, con valores de 8.20 mg/l en el punto AS-04 en estación seca y 8.70 mg/l en el punto AS-01, en estación lluviosa. Los parámetros microbiológicos, coliformes fecales alcanzó valores de 760 NMP/100 ml, no superando el límite. Por su parte, los elementos metálicos analizados no presentaron valores significativos, asimismo, los datos representaron poca variación entre estaciones.

A partir, de la información generada, se dio a conocer que la calidad del agua río Chancay Huaral es apta para uso agrícola (Lopez Salazar & Camacho Cotrina, 2024).

Por otro lado, ANA (2023) realizó el monitoreo de los recursos hídricos superficiales en la unidad hidrográfica cuenca Chancay Huaral, los puntos de muestreo establecidos en el río Chancay Huaral superaron el ECA categoría 3, subcategoría D1. Los valores de coliformes termotolerantes en RChh3 fueron 1700 NMP/100 ml, en RChhu5 3500 NMP/100 ml y en RChhu 11000 NMP/100 ml, los valores de E. coli en RChhu8 fue de 4600 NMP/100 ml, además, el pH en Rchhu1, RChhu5 y RChuu8 fueron de 8.66, 8.74 y 8.92 respectivamente, lo que indicó que el agua es alcalina, puesto que, la composición de suelos es rico en iones de Calcio, Sodio, Carbonatos y Bicarbonatos. Es posible, que los parámetros microbiológicos estén relacionado a la descarga de aguas residuales sin tratar de actividades como el lavado de jvas de pollos, crianza de cerdos y las descendientes de la población situada a lo largo del río Chancay Huaral, que no cuenta tratamiento de aguas residuales, la falta de disposición de residuos sólidos domésticos de construcción y demolición. Los gobiernos locales no han efectuado una escombrera que consienta la disposición correcta de residuos.

Frente a esto, la presente investigación buscará comparar los índices de calidad de agua, de modo que, permita conocer el ICA que mejor represente el estado de la calidad del agua del río Chancay Huaral, de forma que, los resultados sean de fácil comprensión ante los interesados.

García-González et al., (2021) ejecutaron una investigación nombrada “Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador” se analizaron 26 puntos de monitoreo, en 9 ríos, durante los años 2015 a 2017, mediante, pruebas estadísticas, como regresión lineal y coeficiente de determinación,

compararon los índices de calidad del agua, NSF, CCME, ICG, ICAUCA y de León, se buscó interpretar cual de estos ICA se ajusta más a la normativa ecuatoriana. En base a los resultados, los índices ICAUCA (1.43) y NSF (1.37) presentaron las rectas de regresión con mayores pendientes, lo que indicó, mejor relación entre valores del ICA y el porcentaje de parámetros incumplidos; la recta con mayor coeficiente de determinación fue 0.74, por lo tanto, mostró mayor ajuste a la ecuación y estimación al valor del ICA por parte del índice de calidad de agua NSF. Los resultados demostraron, que se puede usar cualquier ICA citado, dado que, no existió diferencias relevantes entre las pendientes de las rectas, excepto el ICA-León, donde, los valores de $\rho=0.0539$ no son estadísticamente significativos, puesto que, no cumplen con la ecuación de una recta, a diferencia de los demás índices que tienen valores menores a 0.05. El índice NSF utilizó 9 parámetros, que es menor al resto, cumpliendo con el criterio de menor cantidad de parámetros a evaluar. En ese sentido, el ICA NSF fue el más preciso para describir la calidad del agua de los ríos Santo Domingo de los Tsáchilas.

Pérez et al., (2018) desarrollaron una investigación llamada “Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia”, compararon los índices de calidad de agua, IGC, NSF, ICAUCA y CETESB, mediante, el coeficiente de correlación de Spearman y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Para el estudio, los ICA fueron agrupados en parejas, se contrarrestaron los valores de los índices y sus calificaciones. En ese sentido, los valores de las correlaciones de Spearman fueron más altos para los índices que para las calificaciones, lo que indicó una mayor coherencia entre los índices, tal como, lo presentó la pareja de índices NSF-ICAUCA, mostró una correlación de 0.099, con un nivel significancia cercano a cero. La RMSE precisó, en la pareja de índices ICAUCA-IGC los menores resultados, 0.385 para

las calificaciones y 1.584 para los índices, lo que evidenció, menor diferencias con el resto de los índices de calidad de agua. En la comparación de ICA, se reveló significativas diferencias entre ellos, debido a su variable de calificación, tal como, resultó los valores de ICAUCA-CETESB con 0.189 de coeficiente de correlación de Spearman.; por otro lado, los índices representaron mejor correlaciones y desviaciones. En otros términos, se encontró variación respecto a la categorización del estado del agua (excelente, buena, aceptable, mala y muy mala), más no en su puntuación. Debido a las diferencias mostradas, existió la indecisión relativo al uso del índice de calidad del agua para el río Ranchería.

Marselina et al., (2022) realizaron una investigación titulada “Water quality index assessment methods for Surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia”, la investigación evaluó durante 9 años, 4 estaciones de monitoreo, para la elección del índice de calidad del agua más adecuado, se consideró las ventajas y desventajas de las metodologías NSF, CCME y OREGON. La calidad del agua por cada año monitoreado, bajo la metodología NSF obtuvo valores entre 33.920 y 58.713, lo cual indicó un estado malo y aceptable. CCME reveló como mala el estado del agua y aceptable con datos de 13.219 y 68.808. Por otro lado, OREGON mostró una calidad muy mala con resultados entre 11.523 y 16.528. Cada índice proporcionó diferentes estados sobre la calidad del agua, sin embargo, el método OREGON no mostró variaciones en la calidad del agua, debido a que, en la ecuación utilizada, cada parámetro tiene la misma ponderación, los valores de los subíndices eran casi siempre los mismos, por lo tanto, los resultados terminaron siendo similares entre sí. Por su parte, la metodología CCME también se consideró inadecuado, puesto que necesita al menos 4 monitoreos para 1 punto de muestreo, conforme a esta investigación, se priorizó informar sobre el estado de la calidad

del agua a través de una evaluación diaria, lo que resultaría demasiado caro. El índice NSF representó, mediante los parámetros DBO, OD, *E. coli*, nitrato, fosfatos, TDS y turbidez una mejor comprensión de las fuentes contaminantes de la cuenca del río Citarum, que fueron identificados como actividades domésticas, agricultura y sedimentación. La metodología de evaluación ICA más adecuado para determinar la calidad del río Citarum fue el propuesto por NSF.

Huerta Lozada & Salazar Castillo, (2024) llevaron a cabo una investigación denominada “Análisis de la aplicabilidad del índice de calidad ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad de agua de la Cuenca del Río Tambo” compararon los índices, ICARHS, ICAU, NSF e IDAHO en 8 puntos de monitoreo, durante los años 2020 a 2022. En la aplicación de los ICA, se usó el software ICAtest v1.0 y hojas de cálculo, asimismo, se analizó la confiabilidad de los métodos, por medio, del análisis de varianza tipo ANOVA y el método de comparación Tukey en el software Infostat. Los índices ICARHS, ICAU e IDAHO tuvieron el menor valor en el punto RTiti1, por otro lado, el punto RVizc1 logró la mayor puntuación con 100, mediante el método ICARHS. El análisis estadístico presentó en ICARHS y NSF, promedios de 52.25 y 51, por lo que, no existió diferencias estadísticamente significativas al presentar valores similares, no obstante, IDAHO con 38.73 calificó el estado del agua como pobre en los 8 puntos de monitoreo, lo que no representó la realidad. ICAU obtuvo el promedio más elevado con 86.75, sin embargo, la metodología no contempla los parámetros de boro, fierro, cobre, manganeso y aluminio, presentes en las aguas superficiales de la cuenca Tambo. El ICARHS y NSF son los que mejor resultados tuvieron, aunque, el NSF no evaluó dentro de sus parámetros el arsénico y boro. Los índices NSF, IDAHO e ICAU

fueron descartados, puesto que, no contemplan el análisis de metales. ICARHS fue el más adecuado para representar la calidad del agua de la cuenca del río Tambo.

Rodriguez Flores (2019) efectuó una investigación titulada “Análisis de la calidad del agua en ríos de la cuenca Chancay-Lambayeque (Perú) en términos de índices de calidad del agua ICA-PE y NSF-WQI” evaluó la calidad ambiental de los cuerpos de agua, por medio de la aplicación de los índices de calidad del agua como NSF-WQI e ICA-PE, a su vez, comparó los índices de calidad de agua analizando el comportamiento de los resultados promedios. Los parámetros evaluados en los ríos no superaron el ECA Categoría 3, excepto, coliformes termotolerantes que para el año 2015, obtuvo un valor de 8543 NMP/100 ml. El puntaje promedio para ríos durante 4 años fue 93,88, lo que se consideró excelente, de igual forma, la metodología NSF aplicada en ríos y quebradas, arrojó valores promedios de 69.79 y 73.96, categorizando la calidad del agua como regular a buena. Según el comportamiento de los resultados promedio, el método NSF generó valores promedios de 71.88, 60.42 y 58.08 en los años 2013, 2014 y 2016, mientras que, el ICA-PE obtuvo 92.28, 97.07 y 94.9 respectivamente; en ese orden, los valores del NSF son inferiores al ICA-PE. Los índices NSF e ICA-PE mostraron resultados similares en la evaluación de ríos y quebradas, lo que indicó que el estado de la calidad del agua de la cuenca Chancay Huaral es buena.

Alarcón Corro, (2019) enfocó su investigación titulada “Aplicación de métodos de Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac”, estudió las metodologías, ICA-PE, Universal, NSF, León, Dinius, Idaho y Oregon calculados, mediante el uso del software ICATest v1.0 y hojas de cálculo. Además, se analizó la confiabilidad de los métodos aplicando un análisis estadístico de coeficiente de variación, se estudió la accesibilidad y evaluación de parámetros utilizados en cada ICA. El cálculo del coeficiente de variación

generó los menores datos en los índices, Universal, NSF, León y Dinus con valores de 9.40, 12.82, 12.00 y 14.67 correlativamente, por lo tanto, mostró menor variación respecto a la media, por otro lado, se descartó los índices Oregón, ICA-PE e Idaho por presentar valores extremos como 24.16. En relación, a la accesibilidad de parámetros, el ICA-NSF contempló 9 parámetros, cantidad más cercana a 10, que fue la condición planteada; en la evaluación de parámetros, el índice NSF consideró relevantes los parámetros de coliformes totales, turbidez, sólidos totales y DBO, dado que superan el ECA, sin embargo, el ICA Universal y Dinius fueron separados, puesto que, no analizó el parámetro de temperatura y no mostró parámetros importantes que superen el ECA. Se presentó al ICA-NSF como el método más adecuado para el río Rímac.

Lopez Salazar & Camacho Cotrina, (2024) desarrollaron una investigación denominada “Evaluación de la calidad del agua para el uso de riego agrícola en la cuenca del río Chancay Huaral, 2022” estudiaron la calidad del agua para riego, a través, del análisis de 31 parámetros, en 4 puntos de muestreo. El oxígeno disuelto superó el límite del ECA Categoría 3 en todos los puntos, puesto que, obtuvo valores entre 7,00 mg/l a 8,20 mg/l; por otro lado, los coliformes fecales mostraron incremento durante la estación lluviosa, con valores máximos de 760 NMP/100ml en el punto AS-04. Los elementos metálicos no registraron mayor variación a lo largo de la cuenca. La zona de la cuenca alta, media y baja del río Chancay Huaral es apta para uso agrícola, dado que, cumple con la normativa ambiental.

Definiciones conceptuales

Calidad del agua

La calidad del agua se detalla en termino de las sustancias que la contenga, en ese sentido, toda el agua natural contiene algún agente externo, tal como, nutrientes o

productos químicos que puedan ser tóxicos. El agua es el elemento más precioso de la naturaleza, está en el epicentro del desarrollo, siendo vital para nuestro planeta y el soporte de la vida (CONCYTEC, 2021).

Cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son territorios establecidos naturalmente, donde, se concentran infiltración que descarga en un punto común, que puede ser un lago o el mar. Existe una interrelación, en el cual, todos los procesos socioecológicos están ligados entre sí, las cuencas hidrográficas permiten entender el ciclo hidrológico, asimismo, cuantificar e identificar impactos asociados a las actividades humanas o externalidades a lo largo del de la unidad hidrográfica, que pueden afectar de manera positiva o negativamente la calidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (SEMARNAT, 2013)

Ríos

Son cuerpos de agua que se conservan en constante mezcla, según las condiciones climáticas y su ubicación geográfica puede variar el caudal, en promedio tienen una velocidad de 0.1 y 1 m/s. Las corrientes de agua en los ríos circulan unidireccionalmente, en la mayoría de los casos, la calidad del agua es fundamental en relación con su flujo (Sierra Ramírez, 2011).

Índice de calidad de agua (ICA)

Resume la calidad del agua en un valor único, combinando varios parámetros importantes, se puede expresar de diversas formas tal como una descripción verbal o símbolo. Los índices de calidad del agua son herramientas de comunicación efectiva que ayudan a transmitir información concisa sobre el estado del recurso hídrico a diferentes

tipos de usuarios (Fernandez Parada & Solano Ortega, 2006). En la gestión de los recursos hídricos, el uso de índices de calidad del agua es primordial, permite comparar condiciones de calidad del agua, asimismo, sus tendencias en el tiempo (ANA, 2020a).

Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

El ICARHS constituye una herramienta integral que combina diversos parámetros para convertir los resultados en un valor que permite evaluar la calidad de los recursos hídricos, simplificando la calificación del estado de los cuerpos de agua naturales y haciéndola comprensible. El procedimiento contempla la determinación de la zona de estudio, recopilación de información y el cálculo, en la recopilación de información, la metodología incluye veinte parámetros, de los cuales, se dividen en fisicoquímicos y materia orgánica, clasificados por las categorías del ECA. La técnica no es aplicada en cuerpo de agua lénticos (ANA, 2020a).

Índice de Calidad del Agua – Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)

El ICA-NSF, de origen en Estados Unidos, es un número que expresa la calidad del recurso hídrico, por medio, de la integración del análisis de parámetros; es aplicado a nivel mundial en la evaluación de las corrientes de agua, la técnica implica nueve parámetros, DBO₅, OD, coliformes fecales, N-NO₃, pH, cambio de temperatura, sólidos disueltos totales (SDT), fósforo total y turbiedad (García-González et al., 2021). El uso del índice NSF es cada vez mayor, aplicado en identificar tendencias en los cambios en la calidad de agua, como resultado de la metodología se tiene, un número entre 0 y 100, en el que, 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 excelente (Cesar Aníbal Saravia Solares, 2017).

Índice de Calidad de Agua de Oregon (ICA-Oregon)

El índice de calidad del agua de Oregon fue diseñado por medio de la metodología Delphi, expresa la calidad del agua por la integración de un conjunto específico de parámetros (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005). Las puntuaciones del índice fluctúan entre 10, que representa la peor calidad y 100 que muestra que la calidad del agua es ideal. Por intermedio de ecuaciones, los datos se transforman en valores, estos valores del subíndice se combinan mediante una fórmula que otorga mayor influencia al parámetro más afectado (Brown, 2016).

Contaminación del agua

Acumulación de sustancias tóxicas en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) que en la dispersión de fluidos alteran su calidad (MINAM, 2016). La contaminación del agua sucede a niveles primario, secundario y terciario de las fuentes de agua, las sustancias que contaminan el agua son orgánicas e inorgánicas (Larios et al., 2015). La contaminación de origen orgánico produce niveles bajos de oxígeno, por otra parte, los inorgánicos tienen un efecto tóxico. Los contaminantes del agua acorde a la calidad se clasifican en físicos, químicos y biológicos (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

Efluentes

Son corrientes de aguas con restos sólidos, líquidos o gaseosos generados por fuentes domiciliarios, que, a su vez, pueden ser industriales, ingresan a la corriente de agua. Los desechos incluidos en los efluentes pueden ser de naturaleza químico y biológico, en relación con eso, los productos tóxicos presentes en los efluentes pueden ser diversos, a razón, del proceso de origen (Contreras Paredes & Barrientos Lopez, 2019).

OEFA

Entidad adscrita al MINAM, ejerce su función supervisión y evaluación para determinar el estado de la calidad ambiental mediante el desarrollo de estudios ambientales especializados y monitoreos sistemáticos de los componentes ambientales. Del mismo modo, lleva a cabo el análisis de factores externos asociados a las actividades económicas que podrían impactar en el ambiente (MINAM, 2015)

Estándar de Calidad Ambiental

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (Ley General Del Ambiente, 2005).

1.2. Formulación del problema

Pregunta de investigación

¿Qué diferencias existen entre los índices de calidad de agua ICARHS, NSF y Oregon aplicado a aguas superficiales del río Chancay Huaral?

Preguntas específicas

¿Cuál es el valor del índice de calidad del agua ICARHS aplicado a aguas superficiales del río Chancay Huaral durante el periodo 2021 a 2024?

¿Cuál es el valor del índice de calidad del agua NSF aplicado a aguas superficiales del río Chancay Huaral durante el periodo 2021 a 2024?

¿Cuál es el valor del índice de calidad del agua Oregon aplicado a aguas superficiales del río Chancay Huaral durante el periodo 2021 a 2024?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Comparar los índices de calidad de agua ICARHS, NSF y Oregon aplicado a aguas superficiales del río Chancay Huaral.

Objetivos específicos

Determinar el índice de calidad de agua ICARHS en el río Chancay Huaral en los años 2021 a 2024.

Determinar el índice de calidad de agua NSF en el río Chancay Huaral en los años 2021 a 2024.

Determinar el índice de calidad de agua Oregon en el río Chancay Huaral en los años 2021 a 2024.

1.4. Hipótesis

Hipótesis general

Existe diferencias significativas entre los índices de calidad de agua ICARHS, NSF y Oregon.

Hipótesis específicas

El valor del índice de calidad de agua ICARHS permite conocer acerca del estado de la calidad del agua en el río Chancay Huaral.

El valor del índice de calidad de agua NSF proporciona información sobre los recursos hídricos superficiales del río Chancay Huaral.

El valor del índice de calidad del agua Oregon ofrece datos relevantes alusivo al río Chancay Huaral.

1.5. Justificación

Este estudio expone la necesidad de evaluar y comparar el estado del agua del río Chancay Huaral durante el periodo 2021 a 2024. La aplicación de diferentes índices de calidad del agua, a través, de la recopilación de información, permitirá identificar las propiedades de cada metodología, a su vez, optar por el que represente de manera más precisa las condiciones reales de la cuenca, lo que contribuirá al monitoreo y gestión de los recursos hídricos en la región. La tesis, aborda el estudio de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en ese sentido, los resultados obtenidos aportan conocimiento sobre el estado del ambiente en la cuenca Chancay Huaral, los posibles contaminantes y sus fuentes, información valiosa a la OEFA en la toma de disposiciones orientas al cumplimiento de la normativa ambiental.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación considero un enfoque cuantitativo, pues, usa datos en forma numérica, lo que permite estimar magnitudes y probar hipótesis, ello está acorde a lo estipulado por Hernández-Sampieri & Mendoza Torres (2018) para una investigación de ese enfoque.

El diseño de la investigación fue no experimental, conforme a lo antedicho por el autor ya mencionado, un estudio no experimental, no manipula las variables, estas se observan y describen tal como se muestran en los resultados.

La investigación tiene un alcance relacional, dado que, se definió la calidad del agua del río Chancay Huaral, mediante, la aplicación de índices de calidad de agua. Se recolecto información de la ANA con el propósito de obtener una base de datos, describir propiedades y características Hernández-Sampieri & Mendoza Torres (2018).

Tipo de variable

La investigación exhibió la variable dependiente, aguas superficiales del río Chancay Huaral y la variable independiente índices de calidad del agua. Asimismo, se relacionó las muestras y verificó la hipótesis planteada.

Población y muestra de estudio

El presente trabajo, cuenta como población de estudio, los registros de resultados de parámetros analizados de los monitoreos participativos realizados por la ANA, sobre la calidad del agua del río Chancay Huaral.

Para la selección de la muestra, se realizó mediante estadística no probabilística por conveniencia (Hernández Sampieri et al., 2014). Por lo tanto, la muestra corresponde a 4 trabajos realizado por la ANA en la época de estiaje entre los años 2021 a 2024, sobre la calidad del agua del río Chancay Huaral, en el departamento de Lima.

El método empleado para el presente trabajo es el inductivo, por medio del presente método, se obtendrán datos de monitoreos de calidad de agua del río Chancay Huaral de la ANA.

Técnica e instrumentos de recolección de datos

Esta investigación es una recolección retrospectiva, se obtuvo información a partir de evaluaciones realizadas por entidades públicas. Asimismo, la técnica utilizada fue la recolección de datos. En ese sentido, los informes técnicos de monitoreo de calidad de los recursos hídricos de los años 2021 a 2024, fueron facilitados por la ANA.

Tabla 1

Relación de informes de monitoreo realizados por ANA

N°	Periodo del monitoreo		Año	Época	N° Informe técnico
	Desde	Hasta			
1	26-May	28-May	2021	Estiaje	INFORME TÉCNICO N° 017-2022-ANA-AAAC.F-ALACH.H/EMRA
2	05-Dic	14-Dic	2022	Estiaje	INFORME TECNICO N° 0012-2023-ANA-AAA.CF-ALA.CHH/EMRA
3	14-Nov	16-Nov	2023	Estiaje	INFORME TECNICO N° 0082-2023-ANA-AAA.CF-ALA.CHH/EMRA
4	20-Jun	21-Jun	2024	Estiaje	INFORME TECNICO N° 0041-2024-ANA-AAA.CF-ALA.CHH/EMRA

En la recolección de datos, se tuvo como instrumento, una ficha de recolección de datos, donde, se agrupó resultados de los informes de monitoreo, a fin de revisar el comportamiento de los parámetros de calidad de agua del río Chancay Huaral, durante los años 2021 a 2024. Los documentos analizados brindaron resultados de los análisis de los parámetros físicos químicos y microbiológicos del río Chancay Huaral. Los datos obtenidos en el presente trabajo cuentan con validez y confiabilidad porque es información obtenida de la entidad pública como la Autoridad Nacional del agua.

Procedimiento de recolección de datos

En relación, a la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública – Ley N°27806, se realizó el trámite documentario de forma virtual, mediante la página web del ANA, se solicitó acceso a la información pública, se rellenó el formulario con datos del solicitante, la información a proporcionar fue informes de los monitoreos de calidad de los recursos hídricos superficiales en la unidad hidrográfica cuenca Chancay Huaral realizados durante los años 2021 a 2024.

El formulario se registró como nueva solicitud, cumplió los requisitos de admisibilidad y fue ingresado en el Sistema de Gestión Documental – ANA. La información fue recibida mediante una notificación de carta del administrador local del agua Chancay Huaral por correo electrónico.

Procedimiento de análisis de datos

En el presente estudio, con la finalidad de comparar los índices de calidad de agua (ICA) aplicado a aguas superficiales del río Chancay Huaral, se planteó cuatro etapas.

- La primera etapa, consistió en la selección de las metodologías para aplicar los índices de calidad de agua.

- La segunda etapa, se agrupó los parámetros requeridos para el cálculo de cada índice.
- La tercera etapa, cálculo de índices de calidad de agua.
- La cuarta etapa, aplicación de análisis estadístico, estimación de los resultados y elección del índice de calidad de agua que mejor represente la calidad de agua del río Chancay Huaral.

Etapa 1. Selección de las metodologías ICA

Conforme a la revisión bibliográfica, existen múltiples índices de calidad del agua a nivel mundial, en ese sentido, se tomaron los siguientes criterios.

- Incluir al menos 2 parámetros de interés en la evaluación del río Chancay Huaral, esto se estudió, a través de los parámetros que superan el ECA en los informes del ANA en el periodo 2021 a 2024.

Tabla 2

Parámetros que no cumplen el ECA

Cuerpo de agua	Informe de monitoreo	Año	Parámetros que no cumplen el ECA
Río Chancay Huaral	INFORME TÉCNICO N° 017-2022-ANA-AAAC.F-ALACH.H/EMRA	2021	pH, zinc
	INFORME TECNICO N° 0012-2023-ANA-AAA.CF-ALA.CHH/EMRA	2022	pH, coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> .
	INFORME TECNICO N° 0082-2023-ANA-	2023	pH, manganeso, coliformes

AAA.CF- ALA.CHH/EMRA		termotolerantes y <i>Escherichia coli.</i>
INFORME TECNICO N° 0041-2024-ANA- AAA.CF- ALA.CHH/EMRA	2024	pH, coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli.</i>

Según la estimación del río Chancay Huaral, los parámetros de mayor representación fueron pH, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*. Los índices de calidad de agua seleccionados se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Índices de calidad de agua seleccionados

Índice	País de origen	Aplicación
ICARHS	Perú	Valora tres usos del recurso: 1) Poblacional y recreacional 2) Riego de vegetales y bebida de animales 3) Conservación del ambiente acuático. Adecuado de la metodología CCME-WQI.
NSF	USA	Desarrollado para ríos, considera el uso para consumo humano. Popular en muchos países.
Oregon	USA	Evaluación general de la calidad del agua

- Índices de calidad del agua que compartan la misma calificación de clases.

Tabla 4
Clasificación de la calidad del agua según los valores ICA

Clase	Color	Definición	Índices de calidad de agua		
			ICARHS	NSF	Oregón
1	Azul	Excelente	95-100	91-100	90-100
2	Verde	Buena	80-94	71-90	85-89
3	Amarrillo	Aceptable	65-79	51-70	80-84
4	Naranja	Mala	45-64	26-50	60-79
5	Rojo	Muy mala	0-44	0-25	10-59

Etapa 2. Parámetros requeridos para el cálculo de cada índice

De los monitoreos realizados por la ANA, se seleccionaron los puntos en común que tienen los monitoreos participativos del río Chancay Huaral en el periodo de 2021 a 2024 (tabla 5). Los puntos de monitoreo seleccionados fueron los siguientes:

Tabla 5
Puntos de monitoreo seleccionados para el análisis de los índices de calidad

Puntos de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM - WGS84		Altitud
		Este	Norte	
RChhu1	Río Chancay Huaral, aguas abajo de los ríos Chicrín y Vichaycocha.	322492	8766807	3357
RChhu3	Río Chancay Huaral, aguas abajo del vertimiento del C P. Acos	300080	8752761	1458
RChhu5	Río Chancay Huaral, puente Boza, acceso a San José	261441	8725049	175
RChhu6	Río Chancay Huaral, sector Tingo Punto	319084	8758769	2794
RChhu8	Río Chancay Huaral, aguas arriba del puente Chancay.	255861	8715948	18

RChhu10	Río Chancay Huaral, Estación Hidrometeorológica Santo Domingo	278666	8742323	626
---------	---	--------	---------	-----

Índice de Calidad Ambiental de los recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

Se agrupó la información de cada año hidrológico según la época en que se desarrollan los monitoreos (época de estiaje). Posteriormente, se seleccionaron los datos correspondientes a los resultados de parámetros que tengan significancia de afectación en la calidad del agua del río Chancay Huaral y que estén dentro de los parámetros que impone el ICARHS, para la categoría 3 (tabla 6).

Tabla 6

Selección de los parámetros requeridos para la metodología ICARHS

	Parámetros	Unidad	ECA Cat.3-D2
Materia orgánica	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15
	Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40
	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000
Físico-químico Metal	Potencial de Hidrógeno	U. de pH	6,5-8,4
	Arsénico (As)	mg/L	0.2
	Aluminio (Al)	mg/L	5
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2
	Hierro (Fe)	mg/L	--
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.05
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05
	Cobre (Cu)	mg/L	0.5

Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento (NSF)

La metodología NSF consideró 9 parámetros para su evaluación, el cual se muestra a continuación en la tabla 7.

Tabla 7

Parámetros utilizados para determinar el ICA-NSF

Parámetros para ICA-NSF
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
Oxígeno disuelto
Coliformes termotolerantes
Nitratos
Potencial de hidrógeno (pH)
Temperatura
solidos totales
Fosfatos totales
Turbidez

Índice de Calidad de Agua de Oregon (ICA-Oregon)

Por su parte el ICA-Oregon requirió los siguientes parámetros para poder realizar la evaluación.

Tabla 8

Parámetros utilizados para determinar el ICA-Oregon

Parámetros para ICA- Oregon
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
Oxígeno disuelto
Coliformes fecales
Nitratos
Potencial de hidrógeno (pH)
Temperatura
Fósforo total (P-total)
Turbidez

Etapa 3. Cálculo de índices de calidad de agua

Método para calcular un índice de Calidad Ambiental de los recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

La data obtenida de los monitoreos participativos fue procesada utilizando la metodología ICARHS. De la cual, se obtuvieron los valores respectivos del índice de calidad de agua en el río Chancay Huaral. A continuación, se detalla el procedimiento para calcular el ICARHS.

Según la ANA (2020a), el primer paso consiste en determinar tres factores clave, que se definen y describen a continuación:

F1-Alcance: Este factor representa el porcentaje de parámetros de calidad del agua que no cumplen con los valores establecidos en la normativa ECA vigente, en relación con el total de parámetros evaluados. Para calcularlo, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1. F1 = Alcance

$$F1 = \left(\frac{\text{número de parámetros que no cumplen los ECA - Agua}}{\text{número total de parámetros a evaluar}} \right) * 100$$

F2-Frecuencia: Esta medida representa la proporción de datos que no cumplen con la normativa ambiental en comparación con el total de datos de los parámetros evaluados, los cuales provienen de al menos cuatro monitoreos. Para calcular F2, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 2. F2= Frecuencia

$$F2 = \left(\frac{\text{número de parámetros que NO cumplen el ECA} - \text{Agua de los datos evaluados}}{\text{número total de parámetros a evaluados}} \right) \times 100$$

F3 - Amplitud: Esta es una medida de la desviación en los datos, calculada mediante la suma normalizada de los excedentes. Los excedentes son los valores que superan el número total de datos. Para calcular F3, se aplicó la siguiente ecuación:

Ecuación 3. F3 = Amplitud

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) \times 100$$

Para F3, es necesario encontrar el excedente y luego sumar estos excedentes. Esto se logró mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4. Suma Normalizada de Excedentes

$$nse = \left(\text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_i^n = 1 \text{ Excedente}}{\text{Total de datos}} \right)$$

El excedente se calculó para cada parámetro y representa la diferencia entre el valor del dato y el valor establecido en el ECA. Hay dos casos para calcular el excedente.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera el valor establecido en el ECA, el cálculo del excedente se realizó de la siguiente manera:

Ecuación 5. Excedente caso 1

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA} - \text{Agua}}{\text{valor establecido del parámetro en ECA} - \text{agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es inferior al establecido en el ECA, lo implica no cumplir con la condición especificada, el cálculo del excedente se efectúa de la siguiente manera.

Ecuación 6. Excedente caso 2

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{valor establecido del parámetro en el ECA} - \text{Agua}}{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA} - \text{agua}} \right) - 1$$

El cálculo del ICARHS se basa en los valores de los factores F1, F2 y F3. Este índice se obtiene restando a 100 la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de estos tres factores. El resultado se presenta en una escala de 0 a 100, donde un ICA de 100 indica excelente calidad y un valor de 0 representa una calidad pésima. Esto se expresa matemáticamente mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 7.

$$ICA - PE = 100 - x = \sqrt{\frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{3}}$$

El valor del ICARHS se calcula y se expresa como un número adimensional dentro de un rango determinado. Este rango permite establecer cinco niveles de sensibilidad, que califican el estado de la calidad del agua en categorías como pésimo, malo, regular, bueno y excelente (ANA, 2020).

Método para calcular los índices ICA-NSF e ICA-Oregon

Luego para la determinación de los índices NSF y Oregon se descargó el programa ICAtest v1.0, en el cual se ingresaron los parámetros solicitados. Posteriormente, el programa generó los resultados.

Etapa 4. Estimación de resultados

Al obtener el resultado de todos los índices evaluados se procederá a realizar el cálculo del promedio de los índices de calidad ambiental de agua en cada punto de monitoreo para luego elaborar un gráfico de barras y visualizar la diferencia de resultados entre los ICAs. Con los datos obtenidos en los índices de calidad se procederá a utilizar el programa IBM SPSS Statistics 27, el análisis de datos se inició con la prueba de normalidad, dado que el número de datos fue menor a 50, se aplicó la prueba de **Shapiro-Wilk** para evaluar la significancia. Los resultados indicaron que los ICAs presentaron una distribución no normal, por lo que se optó por un análisis **no paramétrico de Wilcoxon** para comparar los ICAs. Esta prueba fue seleccionada porque, cuando al menos una de las variables en un par no sigue una distribución normal, la prueba de Wilcoxon es el método más adecuado para el análisis.

Aspectos éticos

La elaboración de la actual investigación implicó el uso de datos de acceso público, información obtenida de la ANA con fines académicos. Se preservó la conducta respecto a evitar el plagio, bajo la ética de una investigación con fines plenamente académico, toda la información extraída, se utilizó solo para el proceso del estudio, así pues, se citó detalladamente la bibliografía respetando el derecho de autor. El estudio no presenta orientación política, ni económica.

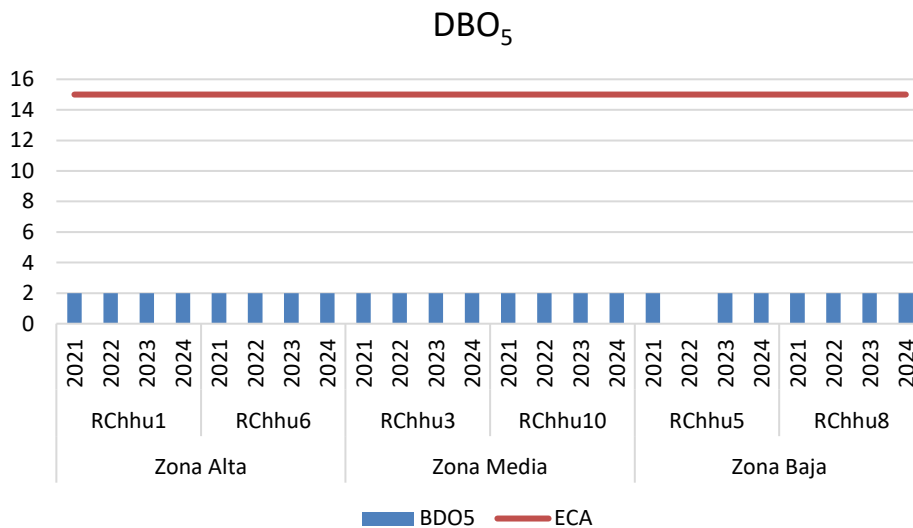
CAPÍTULO III: RESULTADOS

Parámetros solicitados por el ICARHS vs ECA

La concentración de DBO₅ en el río Chancay Huaral se mantuvo relativamente estable en las zona alta, media y baja durante el período 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), los valores registrados fueron constantes y no supero el ECA. De manera similar, en la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), la concentración de DBO₅ mostró estabilidad a lo largo del tiempo, cumpliendo con los valores permitidos. En la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), se observó la misma tendencia, con niveles dentro de los rangos normativos. Los registros de DBO₅ se exponen en la figura 1.

Figura 1

DBO₅ vs ECA

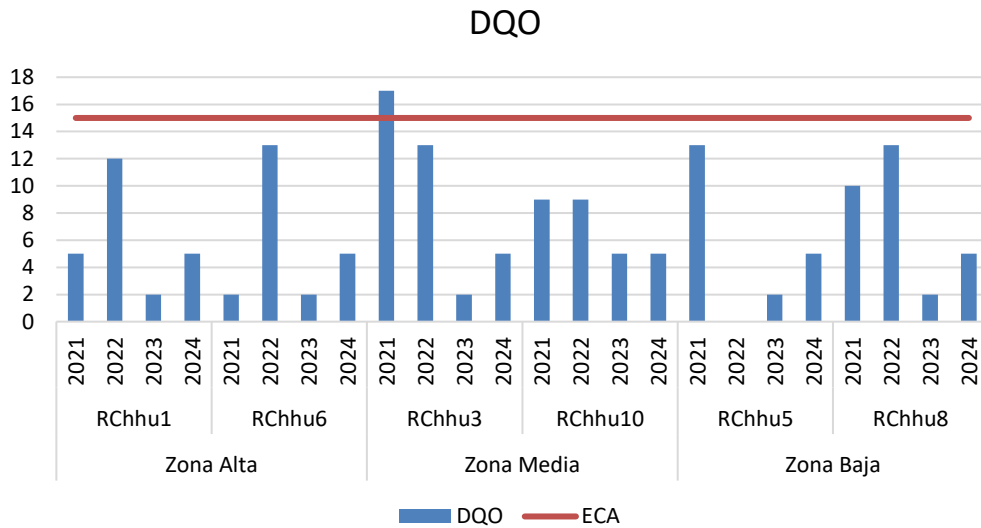


En la figura 2, la concentración de DQO disminuyó en las zona alta, media y baja del río Chancay Huaral en los años 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), los valores mostraron una tendencia decreciente y se mantuvieron dentro de los límites establecidos en el ECA. De manera similar, en la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), aunque la tendencia general fue a la baja, se registró una excepción en el año 2021 en el punto RChhu3, donde la concentración de DQO superó el límite del ECA. En la **zona**

baja (RChhu5 y RChhu8), concentración de DQO también presentó una reducción progresiva sin exceder los valores normativos.

Figura 2

DQO vs ECA

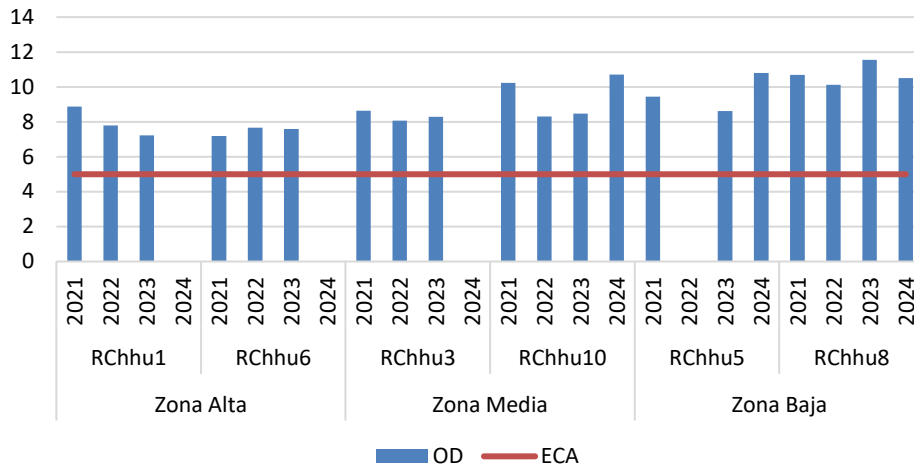


En la figura 3, los niveles de oxígeno disuelto en el río Chancay-Huaral se mantuvo dentro de los valores establecidos en el ECA durante los años 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), los niveles de oxígeno disuelto fueron adecuados y cumplieron con el criterio de ser superiores a 5 mg/L. En la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), los valores también se mantuvieron dentro del rango normativo, asegurando condiciones adecuadas de oxigenación. Finalmente, en la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), se destaca el punto RChhu8, donde la concentración de oxígeno disuelto fue relativamente alta en comparación con los demás puntos de monitoreo.

Figura 3

Oxígeno Disuelto vs ECA

OXÍGENO DISUELTO

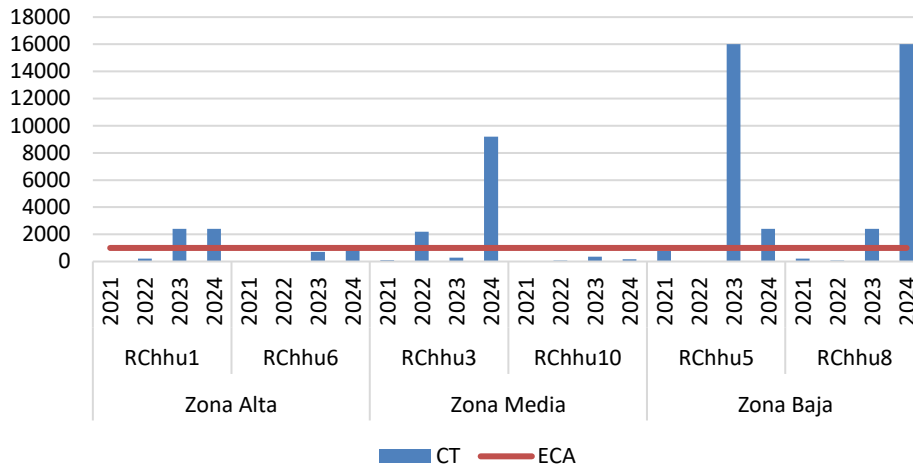


En la figura 4, los resultados de coliformes termotolerantes presentó una tendencia creciente durante el período 2021-2024, registrando los valores más altos en el punto RChhu8 (zona baja) en 2024 y en el punto RChhu5 (zona media) en 2023. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), se evidencia que en RChhu1 se superó el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) durante los años 2023 y 2024. En la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), el punto RChhu3 presentó valores por encima del ECA en 2022 y 2024. Finalmente, en la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), se identificó un incremento significativo en los niveles de coliformes, superando el ECA en RChhu5 durante 2023 y 2024, y en RChhu8 en 2023 y 2024.

Figura 4

Coliformes Termotolerantes vs ECA

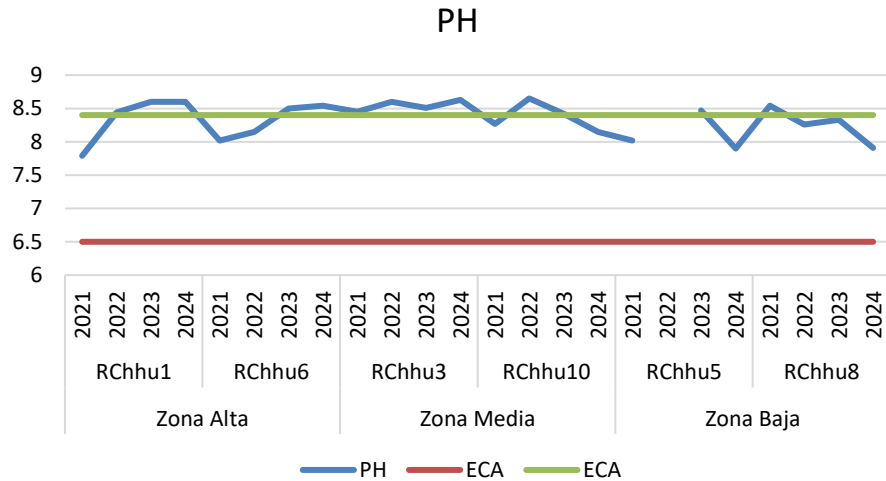
COLIFORMES TERMOTOLERANTES



En la figura 5, los resultados de pH deben mantenerse dentro del rango de 6.5 a 8.4, según el ECA. Sin embargo, en algunos puntos de monitoreo se registraron valores fuera de este límite durante el período 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), el punto RChhu1 superó el rango permitido en 2022, 2023 y 2024, mientras que en RChhu6 se observaron excedencias en 2023 y 2024. En la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), el punto RChhu3 presentó valores fuera del rango a lo largo de todo el período 2021-2024, y en RChhu10 se identificaron desviaciones en 2022 y 2023. Finalmente, en la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), se registraron superaciones del ECA en RChhu5 durante 2023 y en RChhu8 en 2021.

Figura 5

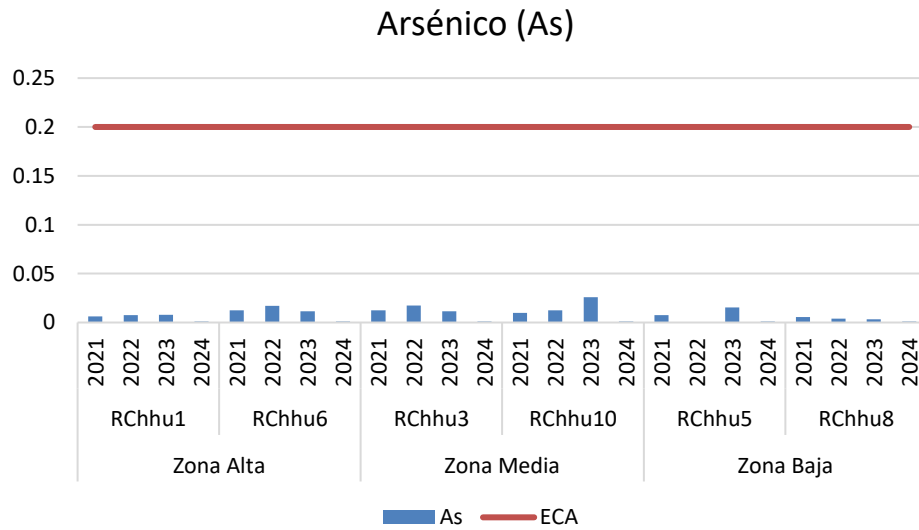
pH vs ECA



En la figura 6, la concentración de arsénico (As) en el río Chancay Huaral se mantuvo relativamente baja en todas las zonas de monitoreo durante el período 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), los valores se mantuvieron estables y por debajo del ECA. En la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), se registró la mayor concentración en el punto RChhu10 durante 2023, aunque sin superar los límites normativos. De manera similar, en la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), las concentraciones de arsénico permanecieron constantes y dentro del estándar permitido.

Figura 6

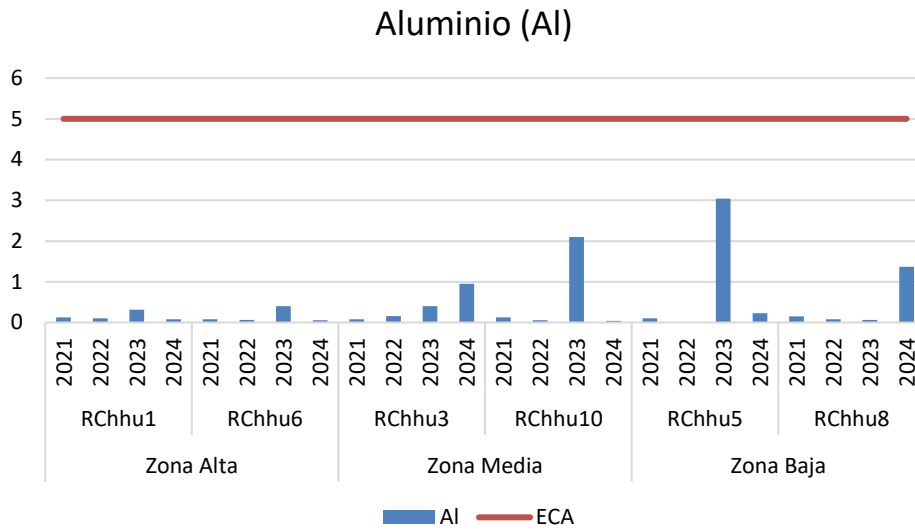
Arsénico vs ECA



En la figura 7, la concentración de aluminio (Al) en el río Chancay Huaral presentó variaciones durante el período 2021-2024, con los valores más altos registrados en 2023. En la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), el punto RChhu5 presentó la mayor concentración en dicho año. De manera similar, en la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), el punto RChhu10 registró el valor más elevado en 2023. Por otro lado, en la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), las concentraciones se mantuvieron relativamente estables. No obstante, en ningún caso se superaron los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), ya que los valores registrados permanecieron dentro del rango permitido.

Figura 7

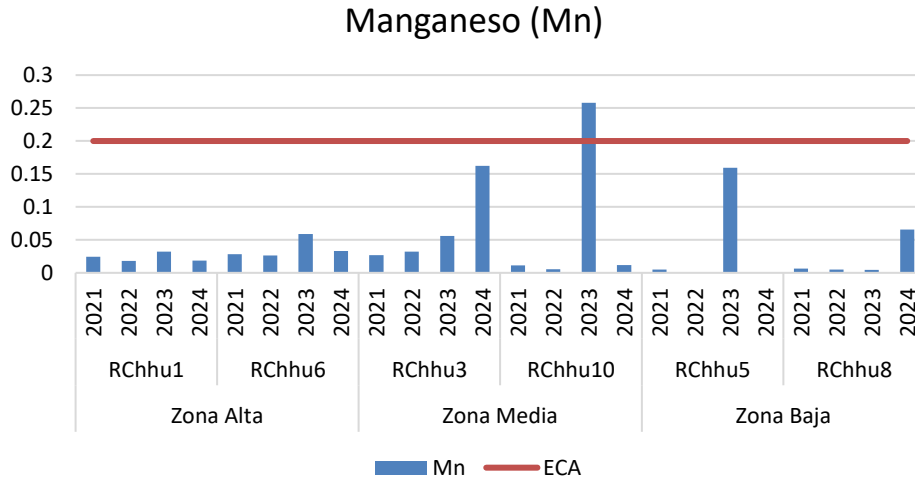
Aluminio vs ECA



En la figura 8, la concentración de manganeso (Mn) en el río Chancay-Huaral presentó variaciones durante el período 2021-2024, con los valores más elevados registrados en 2023 y 2024. En la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), el punto RChhu10 presentó la mayor concentración en 2023, superando el límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). En la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), se registraron incrementos significativos en RChhu5 durante 2023, sin sobrepasar el ECA. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), las concentraciones se mantuvieron dentro de los valores normativos.

Figura 8

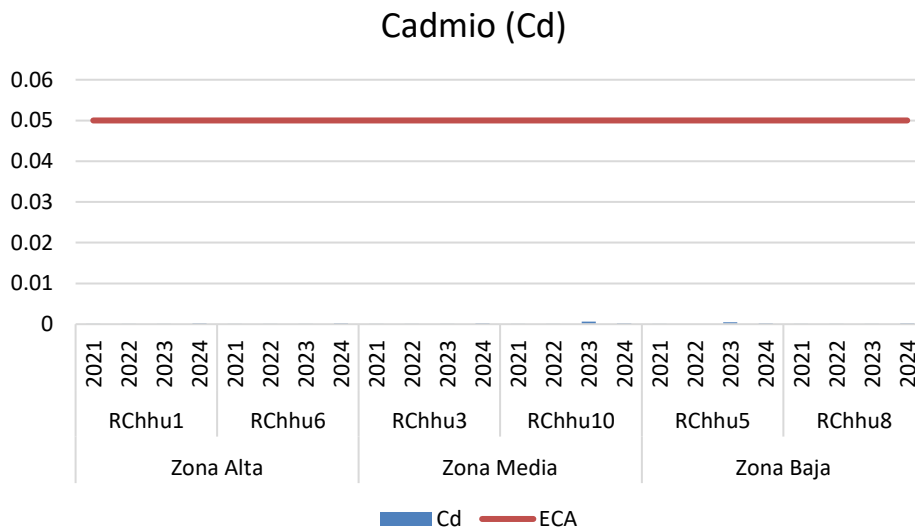
Manganeso vs ECA



En la figura 9, la concentración de cadmio (Cd) en el río Chancay-Huaral se mantuvo relativamente baja en todas las zonas de monitoreo (alta, media y baja) durante el período 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), así como en la **zona media** (RChhu3 y RChhu10) y la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), los valores registrados fueron estables y no superaron los límites establecidos en el ECA.

Figura 9

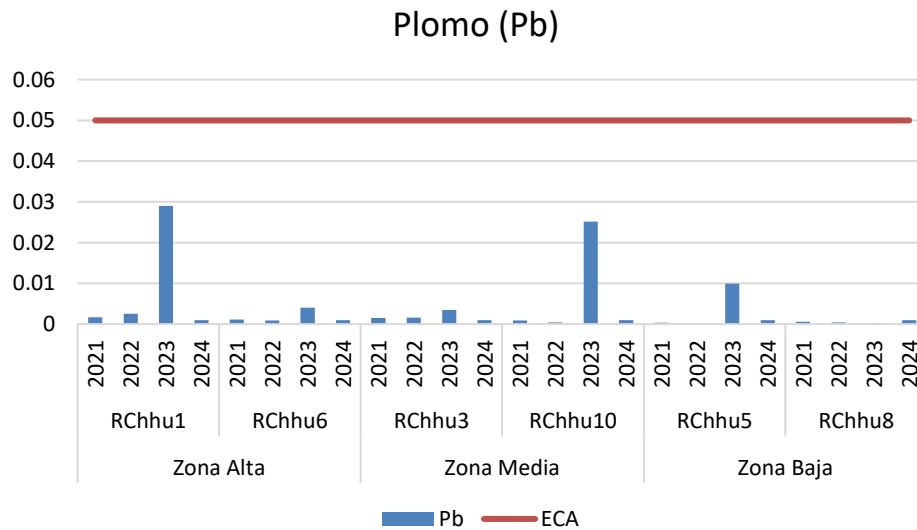
Cadmio vs ECA



En la figura 10, la concentración de plomo (Pb) en el río Chancay-Huaral presentó sus valores más elevados en 2023, especialmente en la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), en el punto RChhu1; en la **zona media** (RChhu3 y RChhu10), en el punto RChhu10 y en la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8) en el punto RChhu5 registraron las mayores concentraciones durante dicho año. No obstante, en ningún caso se superaron los límites establecidos en el ECA.

Figura 10

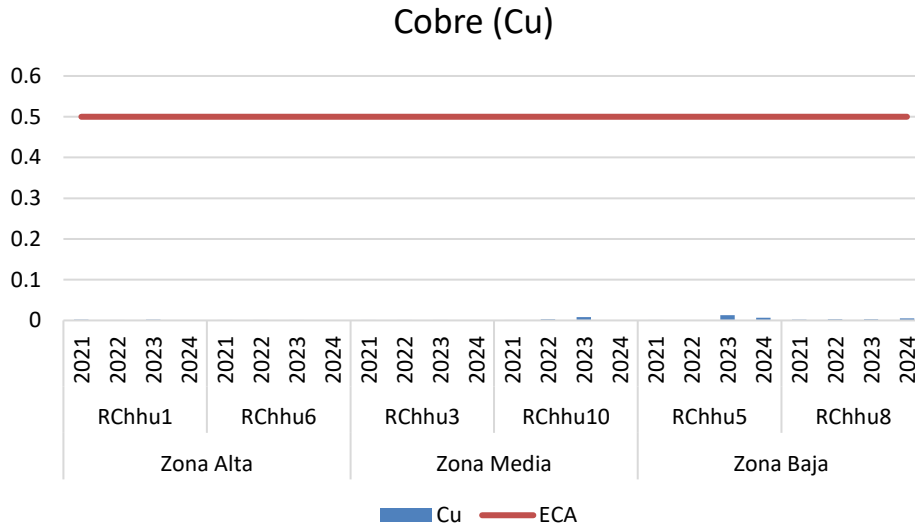
Plomo vs ECA



En la figura 11, la concentración de cobre (Cu) en el río Chancay-Huaral se mantuvo relativamente baja en todas las zonas de monitoreo (alta, media y baja) durante el período 2021-2024. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), la concentración de cobre presentó valores estables, sin exceder los límites normativos. De manera similar, en la **zona media** (RChhu3 y RChhu10) y la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), los niveles registrados se mantuvieron constantes y dentro de los parámetros establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

Figura 11

Cobre vs ECA



Tras identificar, con ayuda de los gráficos, los parámetros que superaron el ECA, se aplicó la metodología ICARHS para evaluar la calidad del agua del río Chancay-Huaral. Los valores del ICARHS presentados en la Tabla N°8 indican que la calidad del agua en el río Chancay Huaral es mayormente "Buena" a "Excelente", con un promedio general de 94.486, clasificado como "Bueno". En la **Zona Alta**, los puntos RChhu1 (96.919) y RChhu6 (99.952) presentan calidad "Excelente", mientras que, en la **Zona Media**, el punto RChhu3 (92.751) se clasifica como "Bueno", y RChhu10 (99.555) alcanza la categoría de "Excelente". En la **Zona Baja**, la calidad del agua muestra una ligera disminución, con los puntos RChhu5 (87.294) y RChhu8 (90.447) en la categoría "Buena", lo que sugiere que, aunque la calidad sigue siendo aceptable.

Tabla 9

Resultados de ICARHS en cada punto

Puntos de monitoreo (ICARHS)			Promedio
Zona Alta	Zona Media	Zona Baja	

	RChhu1	RChhu6	RChhu3	RChhu10	RChhu5	RChhu8	
Río Chancay Huaral	96.919	99.952	92.751	99.555	87.294	90.447	94.486
	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE	BUENO	BUENO	BUENO

En la Tabla 11 se presenta el cálculo del ICARHS para los seis puntos de monitoreo durante el período 2021-2024. Los valores más altos, con un puntaje de 100, se registraron en diferentes años y zonas del río Chancay-Huaral. En la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6), el punto RChhu1 alcanzó este valor en 2021, mientras que el punto RChhu6 lo obtuvo en 2021 y 2022, indicando una calidad del agua excelente. En la **zona baja** (RChhu5 y RChhu8), el punto RChhu5 registró un puntaje de 100 en 2021, y el punto RChhu8 alcanzó este valor en 2022, reflejando también una calidad excelente. Por otro lado, el puntaje más bajo se registró en la **zona baja**, específicamente en el punto RChhu5, con un valor de 67.916, clasificándose dentro de la categoría de calidad regular.

Tabla 10

Resultado de ICARHS por cada año

			ICARHS			
			AÑO			
			2021	2022	2023	2024
PUNTOS DE MONITOREO	Zona Alta	RChhu1	100.000	99.928	93.875	93.875
		RChhu6	100.000	100.000	99.911	99.895
	Zona Media	RChhu3	99.926	94.655	99.907	76.515
		RChhu10	99.827	99.842	98.620	99.932
	Zona Baja	RChhu5	100.000	-	67.916	93.967
		RChhu8	99.895	100.000	93.967	67.924

Los valores del ICA-NSF presentados en la Tabla N°10 indican que la calidad del agua en el río Chancay Huaral es predominantemente "Buena", con un promedio general de 73.218. En la **Zona Alta**, los puntos RChhu1 (70.910) y RChhu6 (80.613) presentan

calidad Buena, mientras que, en la **Zona Media**, los puntos RChhu3 (72.115) y RChhu10 (76.905) también se clasifican como Buenos. En la **Zona Baja**, el punto RChhu5 (71.490) mantiene esta categoría, pero el punto RChhu8 (67.273) se clasifica como "Regular", lo que sugiere una leve disminución en la calidad del agua en este sector.

Tabla 11

Resultado de ICA-NSF en cada punto

	Puntos de monitoreo (ICA-NSF)						Promedio
	Zona Alta		Zona Media		Zona Baja		
	RChhu1	RChhu6	RChhu3	RChhu10	RChhu5	RChhu8	
Río Chancay Huaral	70.910	80.613	72.115	76.905	71.490	67.273	73.218
	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena

En la Tabla 12 se presenta el cálculo del ICA-NSF para los seis puntos de monitoreo durante el período 2021-2024. Se observa que los valores más altos se registraron en la **zona alta** (RChhu6), donde en 2021 y 2022 se obtuvieron puntajes de 90.530 y 90.150, respectivamente, clasificando la calidad del agua como buena en ambos años. Por otro lado, el puntaje más bajo se registró en la **zona baja** (RChhu8), con un valor de 48.490, lo que corresponde a una calidad del agua mala.

Tabla 12

Resultado de ICA-NSF por año

			ICA-NSF			
			AÑO			
			2021	2022	2023	2024
PUNTOS DE MONITOREO	Zona Alta	RChhu1	81.440	77.810	66.420	57.970
		RChhu6	90.530	90.150	73.720	68.050
	Zona Media	RChhu3	77.950	69.710	76.340	64.460
		RChhu10	84.560	73.150	75.710	74.200

Zona Baja	RChhu5	73.670	-	70.540	70.260
	RChhu8	73.320	79.430	48.490	67.850

Los valores del ICA-Oregon presentados en la Tabla N°12 reflejan variaciones en la calidad del agua a lo largo del río Chancay Huaral, con un promedio general de 57.128, clasificado como "Pobre". En la **Zona Alta**, los puntos RChhu1 (52.628) y RChhu3 (52.148) se clasifican como "Pobre", mientras que el punto RChhu6 (73.375) alcanza la categoría de "Aceptable". En la **Zona Media**, el punto RChhu10 (84.165) presenta la mejor calidad del agua, siendo clasificado como "Buena". Sin embargo, en la **Zona Baja**, la calidad del agua disminuye significativamente, con RChhu5 (37.653) en la categoría de "Muy Pobre" y RChhu8 (42.798) clasificado como "Pobre", lo que indica un deterioro en esta sección del río.

Tabla 13

Resultado de ICA-Oregon en cada punto

	Puntos de monitoreo (ICA-Oregon)						Promedio
	Zona Alta		Zona Media		Zona Baja		
	RChhu1	RChhu6	RChhu3	RChhu10	RChhu5	RChhu8	
Río Chancay Huaral	52.628	73.375	52.148	84.165	37.653	42.798	57.128
	Pobre	Aceptable	Pobre	Buena	Muy Pobre	Pobre	Pobre

En la Tabla 13 se presenta el cálculo del ICA-Oregon para los seis puntos de monitoreo durante el período 2021-2024. Se observa que los valores más altos se registraron en la **zona alta** (RChhu1 y RChhu6) y en la **zona media** (RChhu10). En 2021, el punto RChhu1 (zona alta) y el punto RChhu10 (zona media) alcanzaron los valores más elevados, mientras que, en 2022, el punto RChhu6 (zona alta) obtuvo un puntaje de

85.920, clasificando la calidad del agua como buena. Por otro lado, el puntaje más bajo se registró en la **zona baja** (RChhu8), con un valor de 15.690, lo que corresponde a una calidad del agua muy pobre.

Tabla 14

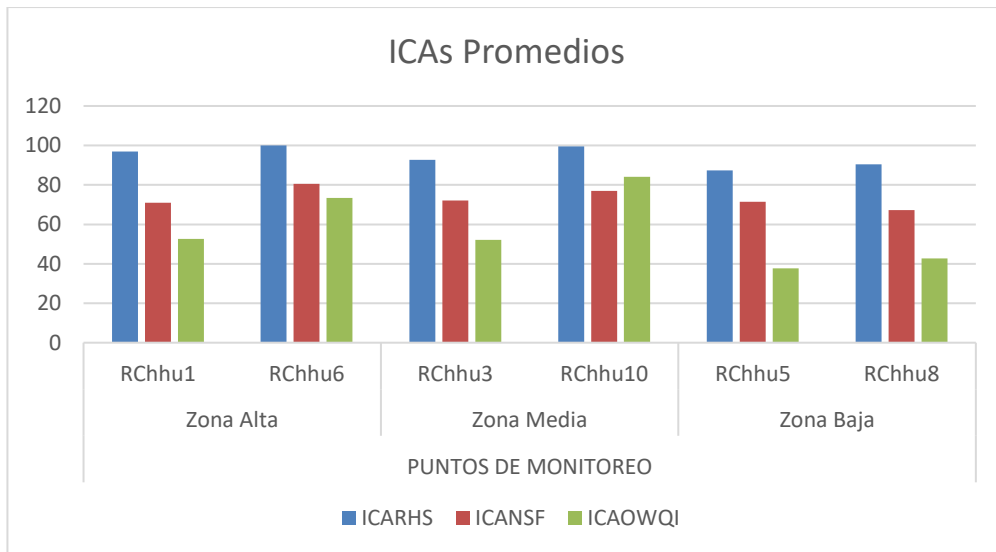
Resultado de ICA-Oregon por cada año

			Oregon			
			AÑO			
			2021	2022	2023	2024
PUNTOS DE MONITOREO	Zona Alta	RChhu1	85.920	83.390	21.750	19.450
		RChhu6	76.310	85.920	72.500	58.770
	Zona Media	RChhu3	85.330	21.470	82.340	19.450
		RChhu10	85.920	85.530	81.010	84.200
	Zona Baja	RChhu5	69.840	-	21.370	21.750
		RChhu8	49.350	85.660	15.690	20.490

En la figura 12 se presenta el promedio de los puntajes obtenidos durante el período 2021-2024 en cada punto de monitoreo. Se observa que los mayores puntajes de evaluación de la calidad del agua se obtienen utilizando la metodología ICARHS en los seis puntos de monitoreo, independientemente de la zona. Por otro lado, los puntajes más bajos corresponden a la metodología Oregon, excepto el punto RChhu10, ubicado en la **zona media** del río Chancay Huaral, donde esta metodología no obtuvo el puntaje más bajo.

Figura 12

Promedios de índices de calidad del agua



En la tabla 14 se puede observar que la mayor media se obtuvo en el ICARHS con 94.8 y la menor media con la metodología Oregon con 57.97. El máximo valor se obtuvo en ICRHS con 100 y el menor valor en el ICA-Oregon con 15.69.

Tabla 15

Resultados estadísticos de los ICA

Resultados estadísticos de los ICA			
	ICARHS	NSF	Oregon
Media	94.80	73.29	57.97
Mediana	99.89	73.67	72.50
Rango	32.08	42.04	70.23
Mínimo	67.92	48.49	15.69
Máximo	100.00	90.53	85.92
Varianza	98.45	87.85	877.10
Desv. Estándar	9.92	9.37	29.62

La prueba de normalidad de **Shapiro-Wilk** para los tres ICA evaluados se presentan en la tabla 15. Se observa que los valores de significancia (<0.05) para **ICARHS** y **Oregon** fueron menores a 0.001, lo que mostró, que no siguen una distribución normal. En contraste, el índice **NSF** presentó un valor de 0.427, lo que sugiere que sus datos sí siguen una distribución normal. Dado que al menos uno de los índices no cumplió con el supuesto de normalidad, se optó por aplicar el análisis **no paramétrico de Wilcoxon** para la comparación de los ICAs.

Tabla 16

Prueba de normalidad de Shapirowilk

	Pruebas de normalidad		
	Shapirowilk		
	estadístico	gl	p
ICARHS	0.574	23	<0.001
NSF	0.958	23	0.427
Oregon	0.762	23	<0.001

Los resultados de la **prueba de Wilcoxon** para la comparación entre los tres Índices de Calidad del Agua (ICA) se presentan en la Tabla 16. Se observa que las comparaciones **ICARHS vs NSF** y **ICARHS vs Oregon** arrojaron valores de significancia menores a 0.001, indicando diferencias estadísticamente significativas entre estos índices. Por otro lado, la comparación **NSF vs. Oregon** obtuvo un valor de 0.045, lo que también indica una diferencia significativa, aunque con menor nivel de evidencia estadística. Estos resultados sugieren que la metodología utilizada en cada índice influye en la clasificación de la calidad del agua.

Tabla 17

Prueba no paramétrica de Wilcoxon

Prueba de Wilcoxon

comparación	P-value
ICARHS vs NSF	<0.001
ICARHS vs Oregon	<0.001
NSF vs Oregon	0.045

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Según el objetivo general de la investigación, que busca comparar los índices de calidad de agua ICARHS, NSF y Oregon aplicados a las aguas superficiales del río Chancay Huaral, los resultados evidenciaron diferencias significativas en la evaluación de la calidad del agua. Esto concuerda con estudios previos que destacan la influencia de la metodología y la ponderación de los parámetros en la clasificación del recurso hídrico (Lopez Salazar & Camacho Cotrina, 2024). El análisis de los valores promedio mostró que el ICARHS presentó las calificaciones más altas, predominando las categorías "Buena" y "Excelente", mientras que el ICA-NSF clasificó mayormente la calidad del agua como "Buena". En contraste, el ICA-Oregon realizó una evaluación más estricta, con valores en su mayoría en las categorías de "Pobre" y "Muy Pobre". Estas diferencias pueden explicarse por las distintas ponderaciones y criterios utilizados en cada índice. El ICARHS, basado en la normativa peruana, tiende a clasificar la calidad del agua de manera más favorable. Por otro lado, el ICA-NSF, ampliamente utilizado a nivel internacional, pondera nueve parámetros con valores fijos, proporcionando una evaluación más estandarizada en diversas regiones (Alarcón Corro, 2019). Finalmente, el ICA-Oregon, con criterios más estrictos, otorga una evaluación más rigurosa (Lopez Salazar & Camacho Cotrina, 2024). Estos hallazgos son consistentes con la investigación de Marselina et al. (2022), quienes evaluaron la calidad del agua en el río Citarum en

Indonesia y encontraron que, bajo la metodología ICA-NSF, el agua se clasificó como "Mala" y "Aceptable", mientras que con ICA-Oregon se determinó una calidad "Muy Mala". Este resultado respalda la idea de que cada índice ofrece diferentes interpretaciones de la calidad del agua, lo que resalta la importancia de considerar el contexto y los objetivos de cada evaluación. Desde el enfoque estadístico, la prueba de Wilcoxon confirmó diferencias significativas entre todos los índices evaluados ($p < 0.001$ en la mayoría de los casos). Esto corrobora que la metodología utilizada en cada índice influye directamente en la clasificación final del agua. Investigaciones previas también han identificado que las discrepancias entre distintos ICA se deben a la selección de parámetros y los pesos asignados a cada uno (Alarcón Corro, 2019).

Referente al primer objetivo específico, determinar el índice de calidad de agua (ICARHS) en el río Chancay Huaral en los años 2021 a 2024, se identificó que el valor promedio del ICARHS fue 94.486 calificándolo como agua de buena calidad. Los resultados mostraron que en todos los puntos de monitoreo el estado de calidad es bueno, alcanzando condiciones de excelente en la zona media y alta del río Chancay Huaral respectivamente. El análisis mostró que la calidad del agua del río Chancay Huaral aumenta de forma proporcional a la altitud, en ese sentido los puntos RChhu1 y RChhu6 correspondientes a la zona alta del río Chancay Huaral presentaron mejor calidad del agua, esto se sustenta en lo afirmado por Leonel et al., (2015), indicaron que los ríos ubicados cerca a la cabecera de cuenca con menor influencia de actividades humanas presentan mejores niveles de calidad de agua. En el nacimiento de un río, la calidad del agua es buena, sin embargo, en su trayecto factores antrópicos cerca al recurso hídrico son la principal causa de contaminación y deterioro ambiental Sanabria Suárez et al., (2017). En ese sentido, López Salazar & Camacho Cotrina, (2024) expusieron menores

valores en los parámetros situados en el punto de monitoreo AS-01, localizado en la cuenca alta del río Chancay Huaral. A su vez, los resultados en la cuenca media y baja fueron favorables, lo que permitió concluir que la calidad del agua es apta para uso agrícola.

Por su parte Vargas, (2021) encontró en su evaluación desarrollada en río San Gabán ubicado en Macusani, Puno. La parte alta de la cuenca presenta buena calidad, representado por el punto RSgab1 con un puntaje de 87 y disminuye aguas abajo por la presencia de contaminantes como coliformes termotolerantes, resultando valores de 23000 y 33000 NMP/100 ml, valores que influyen en la variación del índice.

El estudio de metales solo fue desarrollado en la metodología ICARHS, los parámetros que superaron el ECA fueron manganeso y zinc, ubicados en puntos de monitoreo de la zona media y baja del río Chancay Huaral (RChhu8 y RChhu10). El método ICARHS no contempló el parámetro zinc, el cual superó el límite con un valor de 3.306 mg/l, por otro lado, manganeso obtuvo 0.25 mg/l. encima del valor límite. ANA (2021) dio a conocer, que los metales se encuentran en la naturaleza, por lo tanto, la concentración estaría relacionado a causas naturales. En oposición, López Salazar & Camacho Cotrina, (2024) manifestaron que la cuenca del río Chancay Huaral no tiene en sus propiedades elementos metálicos significativos, dado que las concentraciones no superan el ECA.

Según, al segundo objetivo específico que fue planteado, determinar el índice de calidad de agua (NSF) en el río Chancay Huaral en los años 2021 a 2024. El resultado promedio aplicando la metodología NSF fue 73.22, representó un estado de calidad bueno. Los puntos de monitoreo a lo largo del río Chancay Huaral arrojaron una clasificación de calidad de agua bueno, aunque, la zona baja generó diferencias con un

valor de 67.28, indicó una condición del agua regular. La valoración de los resultados obtenidos se debe por causa de la metodología del índice de calidad de agua NSF, el cual implicó el estudio de 9 parámetros, el índice usó un promedio aritmético ponderado, donde, los factores de ponderación fueron: coliformes fecales (0.15), pH (0.12), DBO₅ (0.10), nitratos (0.10), fosfatos (0.10), desviación de temperatura (0.10), turbiedad (0.08), sólidos totales (0.08) y oxígeno disuelto (0.17), siendo el oxígeno disuelto el parámetro de mayor importancia. ANA, (2018) asegura que el oxígeno disuelto es un parámetro importante en la evaluación de la calidad del agua superficial, es un parámetro vital, dado que, su análisis permite informar la capacidad recuperadora de una corriente de agua y los procesos que se desarrollan en el medio acuático. Castillo Félix, (2021) ratificó que concentraciones bajas de oxígenos disueltos, alteran la calidad del agua, tal como lo obtuvo en su estudio con 3.796 mg/l de oxígeno disuelto, valor que no cumple el ECA categoría 3, lo que calificó como mala el estado del agua en la cuenca media del río Moche.

El tercer objetivo específico propuesto, determinar el índice de calidad de agua (IDAHO) en el río Chancay Huaral en los años 2021 a 2024. El promedio del índice OREGON fue 57.13, simbolizó un estado de calidad de agua pobre, asimismo, la zona baja del río Chancay Huaral estuvo la menor calidad del agua, con un puntaje de 37.65 fue muy pobre. La metodología Oregon integró 8 parámetros, dio mayor relevancia a los parámetros microbiológicos, en sentido, coliformes termotolerantes obtuvo niveles muy altos, 16000 para la zona baja del río Chancay Huaral. El método Oregon asignó pesos fijos a los parámetros, por ende, los parámetros con mayores pesos estadísticos mostraron mayor influencia en el resultado final (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005). (Amaya & Saldarriaga, 2020)) establecieron al parámetro de coliformes termotolerantes

como indicador de calidad ambiental en base al valor límite establecido por el ECA, este valor resultante determina la calidad higiénico sanitario de una masa de agua, esto se refuerza con lo mencionado por el (ANA, 2022), cual indica que, las bacterias de coliformes son el indicador microbiológico utilizado con más periodicidad en la evaluación de calidad sanitaria del agua. Los resultados se asemejan a los evaluados por Alarcón Corro, (2019), donde en todas las estaciones monitoreas en el río Rímac obtuvo una calidad de agua muy pobre, los parámetros que incidieron en el resultado fueron, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales, nitratos y sólidos totales.

Limitaciones

El alcance geográfico de la investigación se centró en el río Chancay Huaral, lo que puede limitar la generalización de los resultados de calidad de agua en otras cuencas hidrográficas con diferentes características ambientales y antropogénicas. Además, algunas mediciones de variables han sido afectadas por la disponibilidad de datos históricos y la carencia de frecuencia de muestreo, lo que podría influir en la precisión del análisis comparativo entre los índices de calidad del agua ICARHS, NSF y Oregon.

Implicancias

Los resultados de este estudio resaltan la importancia de comparar distintos índices de calidad del agua (ICARHS, NSF y Oregon) para evaluar la situación ambiental del río Chancay Huaral. La información obtenida puede ser utilizada para mejorar las estrategias de monitoreo y control, permitiendo a las autoridades ambientales seleccionar el índice más adecuado para la gestión de los recursos hídricos en la zona. Asimismo, el estudio brinda una base para futuras investigaciones que busquen adaptar o desarrollar un índice específico que responda mejor a las condiciones locales. Finalmente, estos

hallazgos pueden contribuir a implementar procesos de tratamiento de aguas y fomentar políticas de conservación basadas en datos científicos.

Conclusiones

Las diferencias significativas entre los índices ICARHS, NSF y Oregon, confirmadas mediante la prueba de Wilcoxon ($p < 0.001$), evidencian que no son equivalentes y pueden generar interpretaciones distintas sobre la calidad del agua. Esta variabilidad se debe a sus diferencias metodológicas: el ICARHS, basado en normativa peruana, es más permisivo; el ICA-NSF aplica valores fijos para sus parámetros, ofreciendo un enfoque balanceado; y el ICA-Oregon, al priorizar la calidad del oxígeno y la carga orgánica, presenta una evaluación más estricta y sensible a la contaminación.

El ICARHS presenta las calificaciones más altas, con predominancia en las categorías "Buena" y "Excelente". En contraste, el ICA-Oregon muestra evaluaciones más conservadoras, clasificando varios puntos de monitoreo como "Pobre" o "Muy Pobre".

El ICA-NSF presenta una tendencia intermedia, con valores que oscilan entre "Buena" y "Regular", mostrando mayor similitud con el ICA-RHS que con el ICA-Oregon.

EL ICA-Oregon presenta valores predominantemente bajos, clasificando varias zonas dentro de las categorías "Pobre" y "Muy Pobre". Esta tendencia se debe a la estricta ponderación del índice en parámetros clave como el oxígeno disuelto y la carga orgánica.

REFERENCIAS

- Alarcón Corro, J. F. (2019). Aplicación de métodos en Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac. In *T19 Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Amaya, M., & Saldarriaga, D. (2020). Las aguas marino-costeras de caleta Cancas, Tumbes: ¿Se encuentran contaminadas? *Manglar*, 17(4), 289–293. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.043>
- ANA. (2015). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*.
- ANA. (2018a). METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-PE. *Ministerio de Agricultura y Riego*, 4(1), 55.
- ANA. (2018b). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE a los cuerpos de agua continentales superficiales. In *Ministerio de Agricultura y Riego* (Vol. 4, Issue 1).
- ANA. (2020a). Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS). *Autoridad Nacional Del Agua - ANA*, 15. https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4479/ANA0002895_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ANA. (2020b). *SEGURIDAD DE PRESAS*.
- ANA. (2021). *Monitoreo 2021-I*. <https://www.ana.gob.pe/organos-desconcentrados/autoridad-administrativa-del-agua-canete-fortaleza>
- ANA. (2022). *I Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos del litoral marino costero en el ámbito de la administración local de agua Chancay y Huaral*.
- ANA. (2023a). *Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos 2021*.
- ANA. (2023b). *Plan de Gestión de Recursos Hídricos de cuenca Chancay-Huaral* (Vol. 9).
- Brown, D. (2016). *Oregon Water Quality Index: Background, Analysis and Usage*. www.oregon.gov/DEQ
- Castillo Felix, D. (2021). Calidad del agua de la cuenca del río Moche empleando el ICA-PE, La Libertad, 2020. In *T20 Universidad Privada del Norte*.
- Cesar Aníbal Saravia Solares, P. (2017). Artículo Científico Determinación de los índices de calidad del agua ICA-NSF para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que

abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala. In *Año* (Vol. 12, Issue 1).

CONCYTEC. (2021). *Calidad del agua: salud de los ecosistemas y salud humana*.

Contreras Paredes, B. M., & Barrientos Lopez, W. (2019). "La incidencia del uso de coagulantes y su relación con el tratamiento del agua de bombeo en la bahía de Chancay en pesquera Centinela-planta Chancay 2018." In *Universidad Nacional del Callao*. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>

De la Cruz Vega, S. A., Mendoza Flores, C. M., Pezo Morales, P. A., Ascoy Flores, K. A., Gonzales Moncada, T. M., & Mejía Guerrero, H. (2022). Hidrología. Capítulo 5. Delimitación de una cuenca con ArcGIS. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 546–561. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1906

Delgado, W. G. (2015). Gestión y valor económico del recurso hídrico. *Revista Finanzas y Política Económica*, 7(2), 279–298. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2015.7.2.4>

Fernandez Parada, N. J., & Solano Ortega, F. (2005). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. In *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*.

Fernandez Parada, N. J., & Solano Ortega, F. (2006). *Índices de Calidad y Contaminación del Agua*.

García-González, J., Osorio-Ortega, M. A., Saquicela-Rojas, R. A., & Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *T26 Ingeniería Del Agua*, 25(2), 115. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edic).

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf

Huerta Lozada, J. L. (2023). Análisis de la aplicabilidad del índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad de agua de la cuenca del río Tambo [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In *77 Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4999>

Huerta Lozada, J. L., & Salazar Castillo, J. V. (2024). Análisis de la aplicabilidad del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en la evaluación de la

- calidad de agua de la Cuenca del Río Tambo. *T1 TecnoHumanismo*, 4(1), 1–34. <https://doi.org/10.53673/th.v4i1.250>
- Jacha Ayala, Z. P., Lazo Salcedo, C. Á., Rojas Cotrina, A. R., & Celestino Laberiano, M. D. (2014). *Evaluación de la calidad y el impacto del ambiente acuático del río Higuera en la provincia de Huánuco-2014*. 8, 23–28.
- Larios, F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer. Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(12), 9–25. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Leonel, M., Santisteban, C., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. In *Junio* (Vol. 7, Issue 1).
- Ley General Del Ambiente, Pub. L. No. N° 28611, 1 (2005).
- Lopez Salazar, M. E., & Camacho Cotrina, C. A. (2024). Evaluación de la calidad del agua para el uso de riego agrícola en la cuenca del río Chancay-Huaral, 2022. In *T34*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *T23 Heliyon*, 8(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>
- MINAM. (2015). Estudio de desempeño ambiental 2003 - 2013. In *Documento de Trabajo 2003 - 2013* (Vol. 1, Issue Desempeño Ambiental Peruano). https://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/estudio_de-desempeno_ambiental_esda_2016.pdf
- MINAM. (2016). Aprender. In *Aprende a Prevenir los Efectos de Mercurio Modulo 3: Agua y Alimento*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv5jxmfj.6>
- Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis comparativo de índices de calidad del agua aplicados al río Ranchería, La Guajira-Colombia. *T46 Informacion Tecnologica*, 29(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 17(1), 71–80. <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Rodriguez Flores, R. G. (2019). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca Chancay-Lambayeque (Perú) en términos de Índices De Calidad Del Agua ICA-PE Y NSF-WQI. In *T27*.
- Sanabria Suárez, A. C., Montenegro Marín, C., Castro Fernández, M. F., & Díaz Casallas, D. M. (2017). Análisis multitemporal de los indicadores de calidad de agua en corrientes

superficiales (ICA) de la cuenca alta del río Bogotá (Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 13(22), 39–54. <https://doi.org/10.16925/in.v13i22.1751>

SEMARNAT. (2013). *Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*.

Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. <http://hdl.handle.net/11407/2568>

Torres Vega, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*.

Vargas, B. (2021). Análisis espacio-temporal del Índice de la calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya Puno-2021 [Universidad Cesar Vallejo]. In *T6 Universidad César Vallejo*. <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6551%0Ahttp://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6495>

Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304–308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

ANEXOS

Figura 13

Resultado de parámetros en la zona alta del río Chancay Huaral

Parámetros a evaluar		Unidad	ECA Cat.3-D2	RChhu1				RChhu6			
				2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
Materia orgánica	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	2	2	2	2	2	2	2	2
	Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	5	12	2	5	2	13	2	5
	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	8.88	7.8	7.22	-	7.19	7.67	7.6	-
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	22	220	2400	2400	1.8	1.8	700	920
Físico-químico Metal	Potencial de Hidrógeno	U. de Ph	6,5-8,4	7.79	8.44	8.6	8.6	8.02	8.15	8.5	8.54
	Arsénico (As)	mg/L	0.2	0.0063	0.0075	0.0079	0.001	0.0124	0.0172	0.0114	0.001
	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.129	0.101	0.312	0.083	0.081	0.062	0.4050	0.057
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.02420	0.01830	0.03220	0.01880	0.028	0.026	0.0587	0.03320
	Hierro (Fe)	mg/L	--	0.125	0.078	0.372	0.025	0.096	0.075	0.611	0.038
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.0017	0.0025	0.029	0.001	0.0011	0.0009	0.0040	0.001
	Cobre (Cu)	mg/L	0.5	0.0016	0.0012	0.0017	0.0002	0.00080	0.00080	0.00090	0.00020
		Numero de parametros que no cumplen el ECA		0	1	2	2	0	0	1	1
		numero total de parametros a evaluar		12	12	12	12	12	12	12	12
		numero de datos que no cumplen el ECA		0	1	2	2	0	0	1	1
DATOS		Numero total de datos		12	12	12	12	12	12	12	12

Figura 14

Resultado de parámetros en la zona media del río Chancay Huaral

Parámetros a evaluar		Unidad	ECA Cat.3-D2	RChhu3				RChhu10			
				2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
Materia orgánica	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	2	4	2	2	2	2	2	2
	Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	17	13	2	5	9	9	5	5
	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	8.63	8.06	8.29	-	10.24	8.3	8.48	10.7
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	94	2200	280	6200	4.5	79	350	170
Físico-químico Metal	Potencial de Hidrógeno	U. de Ph	6,5-8,4	8.45	8.80	8.51	8.63	8.27	8.65	8.42	8.15
	Arsénico (As)	mg/L	0.2	0.0126	0.0173	0.0114	0.001	0.01	0.0126	0.0258	0.001
	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.081	0.157	0.401	0.949	0.128	0.052	2.097	0.04
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.02660	0.03230	0.05680	0.16240	0.011	0.006	0.258	0.01160
	Hierro (Fe)	mg/L	--	0.2777	0.194	0.663	0.934	0.156	0.057	3.270	0.037
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.00061	0.0002
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.0015	0.0016	0.0035	0.001	0.0009	0.0004	0.0252	0.001
	Cobre (Cu)	mg/L	0.5	0.0012	0.0014	0.0014	0.0002	0.00120	0.00260	0.00790	0.00020
		Numero de parametros que no cumplen el ECA		1	2	1	2	2	1	2	1
		numero total de parametros a evaluar		12	12	12	12	12	12	12	12
		numero de datos que no cumplen el ECA		1	2	1	2	3	1	2	1
DATOS		Numero total de datos		12	12	12	12	12	12	12	12

Figura 15

Resultado de parámetros en la zona baja del río Chancay Huaral

Parámetros a evaluar	Unidad	ECA Cat.3-D2	RChhu5				RChhu8				
			2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	
Materia orgánica	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	2		2	2	2	2	2	2
	Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	13		2	5	10	13	2	5
	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	9.45		8.61	10.8	10.89	10.12	11.55	10.5
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	790		16000	2400	220	70	2400	16000
Físico-químico Metal	Potencial de Hidrógeno U. de Ph		6.5-8.4	8.02		8.47	7.9	8.54	8.26	8.33	7.91
	Arsénico (As)	mg/L	0.2	0.0075		0.0155	0.001	0.0056	0.0038	0.0032	0.001
	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.104		3.039	0.227	0.15	0.063	0.067	1.368
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.005		0.1596	0.00005	0.006	0.005	0.0047	0.0058
	Hierro (Fe)	mg/L	--	0.121		4.226	0.062	0.182	0.116	0.076	1.696
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	0.0001		0.00049	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.0003		0.0099	0.001	0.0006	0.0004	0.0002	0.001
	Cobre (Cu)	mg/L	0.5	0.00120		0.01250	0.00630	0.0019	0.0026	0.0025	0.0052
			Numero de parametros que no cumplen el ECA	0	0	2	1	1	0	1	1
		numero total de parametros a evaluar	12	0	12	12	12	12	12	12	
		numero de datos que no cumplen el ECA	0	0	2	1	1	0	1	1	
DATOS		Numero total de datos	12	0	12	12	12	12	12	12	

Figura 16

Ubicación de puntos de monitoreo

