

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DEL ÍNDICE ICA-
PE Y EL ÍNDICE WQI-NSF EN EL RÍO LOCUMBA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. MARCO ANTONIO JUNIOR RAMOS MONTESINOS

Bach. PEDRO ENRIQUE GUILLERMO VELÁSQUEZ

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DEL ÍNDICE ICA-
PE Y EL ÍNDICE WQI-NSF EN EL RÍO LOCUMBA”**

Tesis sustentada y aprobada el 11 de marzo de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA

SECRETARIO : Mag. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA

VOCAL : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRÍAS

ASESOR : Mtra. ANA GABRIELA CRUZ BALTUANO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Marco Antonio Junior Ramos Montesinos, en calidad de bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 71249277 declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: "*Análisis Comparativo del Desempeño del Índice Ica-Pe y el Índice Wqi-Nsf en el Río Locumba*" la misma que presento para optar el *Título Profesional de Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, habiéndose respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 16 de marzo del 2023

.....
Marco Antonio Junior Ramos Montesinos
DNI: 71249277

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Pedro Enrique Guillermo Velasquez, en calidad de bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 75517318 declaro bajo juramento que:

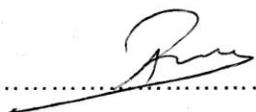
1. Soy autor de la tesis titulada: "*Análisis Comparativo del Desempeño del Índice Ica-Pe y el Índice Wqi-Nsf en el Río Locumba*" la misma que presento para optar el *Título Profesional de Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, habiéndose respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 16 de marzo del 2023


.....
Pedro Enrique Guillermo Velasquez

DNI: 75517318

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicamos este proyecto de investigación a Dios; por habernos dado la vida, permitirnos el haber culminado la universidad de manera satisfactoria y haber llegado a este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestros padres por ser pilares fundamentales, por demostrarnos su cariño, por su apoyo incondicional, y que siempre estuvieron aportando a nuestra formación profesional y como ser humano.

Marco Ramos Montesinos y Pedro Guillermo Velasquez

AGRADECIMIENTOS

Queremos comenzar agradeciendo a Dios por todas sus bendiciones, a nuestras familias por habernos dado la oportunidad de formarnos en la Universidad Privada de Tacna, a nuestros docentes por habernos impartido conocimientos que fueron de gran ayuda para nuestra formación académica a lo largo de estos años.

Un agradecimiento especial a nuestra asesora quien nos estuvo apoyando en todo momento para culminar la elaboración de nuestro proyecto de investigación.

Marco Ramos Montesinos y Pedro Guillermo Velasquez

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Justificación e importancia.....	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis (Opcional).....	6
1.5.1. Hipótesis principal.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes	7
2.1.1. Nacionales:.....	7
2.1.2. Internacional:.....	8
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. Índice de calidad de agua (ICA o WQI)	10
2.2.2. Evolución histórica de los ICA o WQI	10

2.2.3. Modelos ICA o WQI	12
2.2.3.1. Fundación Nacional de Saneamiento WQI (NSF-WQI).....	12
2.2.3.2. Índice de calidad de agua (ICA-PE).....	14
2.2.4. Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA).....	16
2.3. Definición de términos.	17
2.3.1. Cuenca Hidrográfica:	17
2.3.2. Agua potabilizada.....	17
2.3.3. Sostenibilidad Hídrica:	17
2.3.4. Tratamiento Convencional:.....	17
2.3.5. Temperatura del agua de río:.....	17
2.3.6. Conductividad del agua de río.....	18
2.3.7. Sólidos Suspendedos Totales:	18
2.3.8. pH:	18
2.3.9. Oxígeno Disuelto:.....	19
2.3.10. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):	19
2.3.11. Fosfatos Totales:.....	19
2.3.12. Nitratos-NO ₃ :	20
2.3.13. Parámetros microbiológicos:	20
2.3.14. Metales Pesados.....	20
2.3.15. Arsénico.....	20
2.3.16. Boro.....	21
2.3.17. Hierro	21
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	22
3.1. Diseño de la investigación.....	22
3.2. Acciones y actividades.....	22
3.3. Materiales y/o instrumentos	23
3.4. Población y/o muestra de estudio	23
3.5. Operacionalización de variables	25
3.6. Procesamiento y análisis de datos	25

3.6.1. Selección de parámetros	25
3.6.2. Estándares de calidad ambiental en el Río Locumba	27
3.6.3. Cálculo del ICA-PE	30
3.6.4. Cálculo del NSF-WQI	32
3.6.5. Cálculo del NSF-WQI – 11 parámetros	35
3.6.6. Evaluación del desempeño de los índices	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	42
4.1. Identificación de los principales parámetros que comprometen la calidad de agua en el Río Locumba	42
4.2. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE	42
4.3. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI – 9 parámetros	43
4.3.1. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI – 11 parámetros	43
4.4. Evaluación del desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba	43
CAPÍTULO V: DISCUSIONES	46
5.1. Identificación de los principales parámetros que comprometen la calidad de agua en el Río Locumba	46
5.2. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE	47
5.3. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI 9 parámetros	47
5.3.1. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI 11 parámetros	48
5.4. Evaluación del desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba	48
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	57
ANEXO 1. Matriz de consistencia.....	58
ANEXO 2. NSF WQI Diagramas Qi.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	25
Tabla 2. Criterios para la selección de parámetros.....	27
Tabla 3. Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto RLocu3	28
Tabla 4. Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto RLocu5	28
Tabla 5. Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto RCall3	29
Tabla 6. Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto Rllab2	29
Tabla 7. Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto RLocu3	33
Tabla 8. Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto RLocu5	33
Tabla 9. Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto RCall3	34
Tabla 10. Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto Rllab2	34
Tabla 11. Pesos por grupo de parámetros para el índice NSF-WQI.....	36
Tabla 12. Pesos por parámetro para el índice NSF-WQI	36
Tabla 13. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu3 para consumo humano.	37
Tabla 14. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu5 para consumo humano.	37
Tabla 15. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RCall3 para consumo humano	38
Tabla 16. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto Rllab2 para consumo humano ...	38
Tabla 17. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu3 para irrigación	39
Tabla 18. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu5 para irrigación	39
Tabla 19. NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RCall3 para irrigación	40
Tabla 20. Cálculo del NSF-WQI con 11 parámetros en el punto Rllab2 para irrigación	40
Tabla 21. Parámetros usados en cada índice de calidad de agua.....	42
Tabla 22. Resultados según el ICA-PE	42
Tabla 23. Resultados según el NSF-WQI con 9 parámetros	43
Tabla 24. Resultados según el NSF-WQI con 11 parámetros	43
Tabla 25. Evaluación del desempeño del índice ICA-PE y NSF-WQI	44
Tabla 26. Comparación resultados ICA-PE con reporte ANA (2020)	47
Tabla 27. Comparación de clasificación de calidad de agua del Río Locumba según índice ICA-PE y NSF-WQI	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de acciones y actividades	22
Figura 2. Mapa de Ubicación de los puntos de muestreo en el Río Locumba	24
Figura 3. Veces en que se transgrede el ECA para agua por parámetro en la Cuenca Locumba, al 2020	26
Figura 4. Programa “Canadian Water Quality Index 1.0 Calculator”	30
Figura 5. Variables para el Cálculo del ICA-PE ingresados en el Programa	30
Figura 6. Límites establecidos por el ECA agua e ingresados en el Programa	31
Figura 7. Clasificaciones de la Calidad del agua según el ICA-PE	31
Figura 8. Resultado del ICA-PE en el Punto RLocu3	32
Figura 9. Resultado del ICA-PE en el Punto RLocu5	32
Figura 10. Resultados del ICA-PE en el Punto RCall3.....	32
Figura 11. Resultados del ICA-PE en el Punto Rllab2	32
Figura 12. Parámetros de calidad de agua del NSF-WQI 11 parámetros.....	35

RESUMEN

Las fuentes de contaminación afectan negativamente el recurso hídrico, modificando las propiedades físico-químicas del agua; sin embargo, se puede obtener la calidad del agua mediante un gran número de metodologías nacionales e internacionales. La presente tesis tuvo como objetivo comparar la metodología nacional e internacional con mayor confiabilidad para el cálculo de la calidad del agua de la cuenca Locumba; utilizando la comparación de los índices ICA-PE y NSF-WQI, este último con una modificación de sus parámetros base, agregándose 2. Los parámetros utilizados en el cálculo del ICA-PE y NSF-WQI 11 parámetros fueron: Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos en Suspensión Totales (SST), pH, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Termotolerantes, Fosfatos Totales, Nitratos (NO₃-), arsénico (As) y boro (Bo); siendo obtenidos mediante puntos de muestreo previamente monitoreados por la Autoridad Nacional del Agua. La aplicación de la metodología ICA-PE indica que el agua de los ríos principales de la cuenca es de calidad "Mala" para consumo humano y de calidad "Regular y Mala" para irrigación. La aplicación de la metodología NSF-WQI convencional indica que el agua de los ríos principales de la cuenca es de calidad "Buena", debido a que no consideran el contenido de metales pesado; mientras que la aplicación de la metodología NSF-WQI modificada, indica que es de calidad "Moderada" o "Regular" tanto para consumo humano como para irrigación. De la comparación de las metodologías ICA-PE y NSF-WQI se llega a la conclusión que la metodología ICA-PE se adapta mejor al ámbito estudiado; mientras que la metodología NSF-WQI, tanto el convencional como el modificado, no se adecuan a las condiciones de la zona de estudio.

Palabras clave: Índice de calidad de agua, ICA-PE, CCEM-WQI, NSF-WQI, metales pesados.

ABSTRACT

Water resources are negatively affected by pollution sources, they modify the physical-chemical properties of water. Water quality can be obtained using a large number of national and international methodologies. The aim of this thesis was to compare reliable national and international methodologies that are used to calculate the water quality index of the Locumba River. The ICA-PE and NSF-WQI indices were compared, the latter with a modification of its base parameters, by adding 2 related to heavy metals. The parameters used in the calculation of the ICA-PE and NSF-WQI 11 parameters were: Temperature, Electrical Conductivity (EC), Total Suspended Solids (TSS), pH, Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Thermotolerant Coliforms, Total Phosphates, Nitrates (NO₃-), Arsenic (As) and Boron (Bo); which have been obtained through sampling points previously monitored by the National Water Authority. The application of the ICA-PE methodology indicates that the water of the main rivers of the Locumba Basin is of "Bad" quality for human consumption and of "Regular and Bad" quality for irrigation. The application of the conventional NSF-WQI methodology indicates that the water of the main rivers of the basin is of "Good" quality, because they do not consider the content of heavy metals; while the application of the modified NSF-WQI methodology indicates that it is of "Moderate" or "Regular" quality for both human consumption and irrigation. From the assessment of the ICA-PE and NSF-WQI methodologies, it is concluded that the ICA-PE methodology is better adapted to the study area; while the NSF-WQI methodology, both conventional and modified, are not adequate to the conditions of the Locumba River.

Keywords: Water quality index, ICA-PE, CCEM-WQI, NSF-WQI, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

Los ríos son muy importantes para la sociedad porque proporcionan agua dulce para el desarrollo de sus diferentes actividades, por lo tanto, la calidad del agua de una cuenca podría verse afectada por muchos factores naturales y antropogénicos, Yotova et al., (2021). El medio acuoso es la principal fuente de desechos de procesos industriales, naturales y residuales; los cuales contienen metales pesados. Este tipo de contaminación en el ecosistema es un factor creciente a nivel mundial y alcanza niveles alarmantes en la actualidad, Laino-Guanes et al., (2015).

Las evaluaciones e investigaciones realizadas sobre metales pesados en el ámbito de Tacna y en el Perú son escasas, por lo que, es indispensable llevar a cabo una evaluación más minuciosa. Dicha evaluación demostrará los efectos causados en el recurso hídrico con mayor amplitud; con la finalidad de dar tratamientos más adecuados y eficientes a los diversos ecosistemas conformados, Alviz Gonzales & Alviz Gonzales, (2021).

Los índices de calidad de agua transforman varios parámetros de calidad del agua monitoreados, muchas veces incluyendo metales pesados, en un número adimensional, para que los cambios en la calidad del agua del río en cualquier lugar y momento en particular puedan presentarse de una manera simple y fácilmente comprensible, Sutadian et al., (2016b).

A pesar de la gran cantidad de índices que se han desarrollado y utilizado en todo el mundo, no es posible decir cuál índice es el mejor. Algunos índices son más populares que otros. Por ejemplo, el WQI de la Fundación Nacional de Saneamiento de EE. UU., que comúnmente se conoce como NSF-WQI, se usa no solo en el país de origen sino también en muchos otros países, Abbasi & Abbasi, (2012b). Asimismo, el WQI del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, denominado CCME-WQI, desarrollado 31 años después que el NSF-WQI, es otro índice que se utiliza en muchos países además del país de origen, Abbasi & Abbasi, (2012b); y es la base del Índice de Calidad de Agua peruano, ICA-PE, porque tienen la misma metodología de cálculo, Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos, (2018).

Cada índice tiene sus ventajas y desventajas específicas, e incluso se han identificado diferencias apreciables entre las clasificaciones dadas por diferentes índices en la misma muestra de agua, Abbasi & Abbasi, (2012b).

Una de las cuencas hidrográficas más representativas de la Región Tacna es la cuenca del río Locumba, la misma que presenta una variedad de fuentes de contaminación, entre las que se encuentran: efluentes de aguas residuales, residuos sólidos, aguas naturalmente contaminadas y vertimientos in situ, Autoridad Nacional del Agua, (2020), lo que hace necesaria la categorización de sus aguas de acuerdo a su uso.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de dos índices de calidad de agua, para encontrar la metodología más adecuada que refleje la situación real de la calidad de agua en el Río Locumba. Realizando una comparación de los resultados de la clasificación con metodologías nacionales e internacionales más utilizadas, el ICA-PE y el NSF-WQI respectivamente. Estos índices han sido aplicados en la cuenca hidrográfica del Río Locumba usando resultados de puntos de muestreo previamente monitoreados por la Autoridad Nacional del Agua.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La disponibilidad de agua potabilizada es indispensable para la vida, de hecho, es un derecho humano básico y parte esencial de la política de salud pública. Las enfermedades asociadas a un agua contaminada representan una carga importante para la salud humana, Organización Mundial de la Salud, (2018).

Mundialmente, la calidad del agua potable influye considerablemente sobre la calidad de vida de la población, por consiguiente, las acciones para controlar la calidad del agua potable tendrán importantes beneficios para la salud.

El Perú presenta obstáculos frente a su sostenibilidad hídrica. Como tal, enfrentamos problemas potenciales que amenazan la calidad de vida, la buena alimentación y el correcto desarrollo de las generaciones actuales y futuras, Pavel Aquino Espinoza, (2017).

La deficiente calidad de agua en el Perú es consecuencia de la realización de actividades poblacionales, manejo incorrecto de desechos sólidos, agentes naturales, entre otros. Esta acción se desarrolla en los bordes de las cuencas hidrográficas, produciendo una gran cantidad de desechos líquidos y sólidos. Estos residuos son depositados o drenados a las cuencas superficiales, modificando la calidad del agua, Autoridad Nacional del Agua, (2020).

En la región de Tacna las actividades económicas que se realizan son la ganadería, la agricultura, la agroindustria, la minería, el comercio, el turismo, la pesca, entre otras. Estas actividades están sujetas en gran medida al uso recurso hídrico, por lo tanto, son propensos a generar residuos contaminantes, Dirección Regional de Vivienda, (2021).

En la cuenca hidrográfica Locumba, la Autoridad Nacional del Agua ha identificado 18 fuentes de contaminación, las cuales se clasifican en 9 tipos: 1 fuente de agua residual, 5 fuentes de residuos sólidos, 2 fuentes de aguas naturales, 1 fuente de sustancias descargadas in situ y 1 vertimiento de agua residual doméstica con tratamiento, Autoridad Nacional del Agua, (2020).

Además, en la unidad hidrográfica se tiene la presencia de parámetros que exceden lo permitido en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua los cuales son: arsénico, hierro, potencial de hidrógeno (pH), manganeso, aluminio, fósforo total, conductividad, sulfatos, boro, demanda química de oxígeno, plomo, oxígeno

disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, mercurio, coliformes termotolerantes, zinc, níquel, cloruros y sólidos suspendidos totales, Autoridad Nacional del Agua, (2020). Por consiguiente, se ve la necesidad de evaluar la calidad del agua para riego y su aptitud para el consumo humano. Evitando así, afectar la calidad de vida de la población.

La evaluación de la calidad del agua necesita la recolección y el análisis de una variedad de datos que pueden ser difíciles de evaluar y recolectar. Existen una variedad de herramientas para evaluar la calidad del agua, el modelo del índice de calidad del agua (Water Quality Index) es una de esas herramientas, Md. Galal Uddin et al., (2021).

El modelo WQI es una herramienta popular tanto a nivel nacional como internacional para evaluar la calidad del agua superficial. Indicar la calidad del agua mediante el uso de índices de calidad del agua es efectivo, Akkoyunlu & Akiner, (2012). Se pueden utilizar muchos métodos de evaluación de WQI para determinar el estado de calidad del agua superficial. Sin embargo, dado que cada método fue diseñado para un propósito, una ubicación y una evaluación de expertos diferentes, los resultados de WQI obtenidos con cada método pueden diferir incluso cuando se aplican a la misma superficie de agua, Marselina et al., (2022). Por lo tanto, el uso de diferentes WQIs en un mismo punto puede conducir a contradicciones, Kachroud et al., (2019).

Por esta razón, analizaremos el desempeño de los Índices de Calidad del Agua más utilizados en el Perú (ICA-PE) e internacionalmente (WQI-NSF), utilizando como referencia los monitoreos de calidad de agua realizados en 3 puntos del Río Locumba.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE?

- b. ¿Cuál es la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice WQI-NSF?
- c. ¿Cuáles son los principales parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos que comprometen la calidad del agua en el Río Locumba?

1.3. Justificación e importancia

Justificación teórica: Aún no existe una comparación entre el desempeño de ambos índices.

Justificación práctica: Una vez conocido cuál es el índice que refleja mejor la calidad de agua en el Río Locumba, éste puede ser aplicado a otros ríos de características similares.

Justificación social: Conocer la calidad de agua para consumo humano en el Río Locumba contribuirá a una mejor toma de decisiones para la mitigación de posibles impactos negativos en la salud de la población que se abastece de él.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Categorizar la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE
- b. Categorizar la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice WQI-NSF
- c. Identificar los principales parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos que comprometen la calidad del agua en el Río Locumba

1.5.Hipótesis (Opcional)

1.5.1.Hipótesis principal

El desempeño del índice ICA-PE es mejor en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. La calidad de agua en el Río Locumba según el ICA-PE es “Regular”
- b. La calidad de agua en el Río Locumba según el WQI-NSF es “Regular”
- c. Los principales parámetros que comprometen la calidad del agua en el Río Locumba son la temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, arsénico y hierro

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

Laura Ortiz, (2019) En el estudio titulado “Gestión de la Calidad del Agua del Río Chili mediante el empleo de Índices Físico Químicos de Calidad Ambiental, Arequipa”, el objetivo fue analizar la calidad de agua usando el Índice de Calidad Ambiental de Agua para el Perú (ICA-PE) bajo el Estándar de Calidad Ambiental del Agua (ECA) para Aguas superficiales que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. Surgiendo para el primer grupo, resultados de “Excelente” para los puntos evaluados que se encuentran en el río Sumbay, a diferencia, para los otros dos puntos, el resultado es de “Bueno”. En cuanto al segundo grupo evaluado, los puntos del río Yura y de la Quebrada Añashuayco, tuvieron calificación de “Excelente”. Mientras, para los puntos localizados en el río Chili, los puntos del río Sigwas y río Quilca, su resultado, es de “Bueno”. Los puntos de evaluación del río Tingo, río Sigwas y río Vitor, reciben un resultado de “Regular”.

Castillo & Medina, (2014) En el trabajo de investigación “Evaluación Espacio-Temporal de la Calidad del Agua del Río Rimac (Riego), de Enero a Agosto del 2011, en tres Puntos de Monitoreo” se utilizaron los resultados conseguidos por DIGESA y SEDAPAL del año 2011 en la parte alta de la unidad hidrológica para estudiar la calidad espacial y temporal del agua para irrigación a través de dos índices de calidad (CCME-WQI Canadá y NSF-WQI USA), considerando los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, (ECA para agua). Con el CCME-WQI los dos puntos de monitoreo de la parte alta indicaron valores de calidad de agua entre aceptables y buenos; y en la estación más baja, entre aceptable y excelente. Con el NSF-WQI la mejor calidad de agua (buena) se obtuvo en dos puntos de monitoreo de la parte alta del campo de investigación y en la parte baja se calcularon valores entre buenos a medios.

Jimenez Cotrina & Llico Portal, (2020) En el estudio denominado “Evaluación de la Calidad del Agua en el Río Muyoc, aplicando el Índice de Calidad Ambiental para agua, Cajamarca 2019” se evaluó, respecto al ECA, la calidad de agua del río Muyoc en dos temporadas, en temporada de sequía y en temporada de lluvia, obteniendo como calificación en el punto de evaluación 01 una calidad de agua “Buena” y en el punto de evaluación 02 una calidad de agua “Excelente”. Al

examinar ambos resultados de los puntos de evaluación 01 y 02, solamente el punto de evaluación 01 excede dos parámetros físico-químicos limitados por el ECA. De modo que, se llega a la conclusión que al realizar los cálculos del ICA-PE, en el río Muyoc, resulta como calificación una buena calidad del agua; mientras que, en el segundo punto de evaluación ningún parámetro sobrepasa el ECA.

Cordova Castañeda, (2017) En el estudio titulado "Calidad del Agua en la Microcuenca del Río Challhuahuacho Comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para Riego y Bebedero (ECA 3) en la Zona de Challhuahuacho, Cotabamba – Apurímac – 2016" se determinó la calidad del agua (ICA-PE) de la microcuenca del río Challhuahuacho y compararlas con el ECA para determinarse su calificación. Por ello se evaluó en dos puntos, punto de evaluación 01 localizado al terminar la zona urbana en la parte baja y punto de evaluación 02 localizado en la parte alta en el inicio de la zona urbana. Luego de la evaluación se pudo calcular que el punto de evaluación 02 cumple con todos los estándares; no siendo así el punto de evaluación 01 quien excede los niveles de los parámetros referentes a los Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y Escherichia coli, indicado contaminación termotolerante. Se determinó que aguas abajo la microcuenca excede con los ECA categoría III para irrigación y consumo de animales, ya que se encuentran alteradas con residuos termotolerantes procedente de los seres humanos y de animales, impidiendo ser apta para el consumo de algún ser vivo.

Palomino Avellaneda, (2016) En el artículo científico denominado "Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016" se evaluó el ICA en el río Mashcón al calcular propiedades físico-químicas y microbiológicas, y compararlas con los ECA agua. Por lo cual, se escogieron cinco puntos de evaluación (PE1, PE2, PE3, PE4 y PE5) en los que se extrajeron porciones de agua para su análisis físico, químico y microbiológico; según metodologías estandarizadas. Al ser relacionadas con los ECA agua el punto PE1 excede claramente los ECA para la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes totales. Seguido del punto PE2. Esto demuestra altos niveles de alteración en el cuerpo de agua, por lo que se calcula que la calidad del agua es en el río Mashcón, en los puntos de evaluación próximos a la zona urbana.

2.1.2. Internacional

Coello et al., (2013) En la investigación denominada "Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-

Parque Nacional Sangay-Ecuador” el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de agua utilizando el ICA-NSF en los ríos alto andinos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho, Ecuador. Por ello se seleccionaron 06 estaciones de muestreo en el río Ozogoché, 08 estaciones de muestreo en el Río Pichahuiña y 04 estaciones de muestreo en el Pomacocho a lo largo de un año cubriendo las temporadas de lluvia y de sequía. De las estaciones se recolectó valores de 09 parámetros, los cuales se promediaron y usaron para calcular el ICA de cada río, concluyendo que las 03 microcuencas tienen calificación de “Buena”.

Granizo Taboada & Toa López, (2019) El estudio titulado “Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) de las Fuentes de Agua Resultantes de un Plan de Manejo de Paramos, Parroquia Sucre, Cantón Patate” se tiene como objetivo el cálculo del ICA-NSF, para determinar la eficiencia del manejo que se le da al ecosistema páramo. En el ámbito de estudio se identificó 03 fuentes de agua: Cooperativa Uno, Cooperativa Dos y Sudagua, las cuales son destinadas para uso pecuario. La evaluación se realizó en el mes de noviembre-diciembre del 2019, determinando como resultado que las 03 fuentes de agua evaluadas tienen una calificación de “Buena”.

Carrillo Alvarado & Urgilés Calle, (2016) En la tesis denominada “Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar y Pindilig” se determinó el ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig, evaluados en los meses de Mayo-Noviembre del 2015. Dando como resultado que para la subcuenca del río Mazar la calificación de la calidad del agua entre las dos estaciones de evaluación, disminuye su calidad aguas abajo, sin embargo las calificaciones obtenidas son de calidad “Buena” en los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre; mientras que, en el mes de Junio (temporada de altas precipitaciones) su calidad baja, calificándose con calidad “Media”; para la subcuenca del río Pindilig se calculó la calidad del agua en 03 estaciones de evaluación, la calidad aumentó aguas debajo de la cuenca; calificándose con calidad “Buena” en los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre, mientras que, en el mes de Junio (temporada de altas precipitaciones) su calidad baja, calificándose con calidad “Media”.

Méndez-Zambrano et al., (2020) En la investigación denominada “Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona”. Se determinó que el promedio de los ICA-NSF para cada punto de evaluación presenta una calificación distinta, siendo así en el punto de evaluación 01 con una calidad de “Buena”; mientras que, el punto de evaluación 02 se clasificó una calidad de “Regular” y el punto de evaluación 03 resultó con una calidad de “Mala”. La calidad del agua del río Copueno es alterada especialmente por las

descargas de las aguas residuales en diferentes zonas, lo que deja ver la poca eficiencia en las políticas públicas aplicadas para su correcta regulación.

Saravia Solares, (2016) En el artículo denominado “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” se determinó el ICA NSF para consumo humano, siendo las estaciones Teocinte-18, Teocinte-20 y Acatan. Finalmente, el resultado del ICA-NSF califica el río teocinte con una calidad de “Mala”. Mientras que, el río Acatán es calificado según el ICA-NSF con una calidad “Media”.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Índice de calidad de agua (ICA o WQI)

Uno de los enfoques más comunes utilizados para evaluar el estado de la calidad del agua en un cuerpo de agua es mediante el uso de índices de calidad del agua (ICA), o WQI, por sus siglas en inglés, Water Quality Index Sutadian et al., (2017).

Esta metodología es un instrumento para determinar la calidad de agua de forma simple, dispone los parámetros que afectan la calidad del agua de forma más resaltante. La finalidad de los WQI es clasificar, según la calidad de agua que se encuentra en la unidad hidrológica. Así mismo, estos índices frecuentemente se representan en función del número de variables y los tipos de parámetros de calidad del agua como en la evaluación con los estándares respectivos de una zona especial Paun et al., (2016).

2.2.2. Evolución histórica de los ICA o WQI

Horton, en 1965 propuso inicialmente el WQI y, desde entonces, se pueden encontrar en la literatura muchos métodos diferentes de cálculo del WQI, Kachroud et al., (2019). Incluso mucho antes, estudios previos a mediados de 1800 utilizaron el concepto de categorizar las aguas según su grado de contaminación, Lumb et al., (2011).

El índice de Horton buscaba ser un medio para la evaluación comparativa de las condiciones de calidad del agua y los programas de reducción de la contaminación, Kachroud et al., (2019). Por lo tanto, dicho índice es básicamente una herramienta comparativa para evaluar los esfuerzos realizados para mejorar la calidad del agua, y no es realmente una herramienta para evaluar la calidad del agua de forma absoluta. Horton excluye explícitamente la toxicidad, sobre la base

de que “bajo ninguna circunstancia los arroyos deben contener sustancias que sean dañinas para los humanos, los animales y la vida acuática. El agua que contiene tales sustancias, por lo tanto, no se considera elegible para la calificación del índice”, Kachroud et al., (2019).

Más tarde, en 1970, Brown et al. estableció un nuevo WQI con nueve variables: OD, FC, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), temperatura, concentraciones totales de fosfato y nitrato, turbidez y contenido total de sólidos. Este índice se basó en la opinión profesional de un panel de 142 expertos en calidad del agua, quienes definieron la ponderación de cada variable y establecieron cinco clases para la calidad del agua. El primer índice propuesto por Brown et al. tomó la forma aritmética. Posteriormente, en 1973, Brown et al. consideró que una agregación geométrica era mejor que una agregación aritmética, siendo más sensible cuando una sola variable excede la norma. Estos trabajos fueron apoyados por la Fundación Nacional de Saneamiento, de ahí la denominación de su índice NSFQI, Kachroud et al., (2019).

A mediados de los 90s, en Canadá, el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) introdujo un WQI desarrollado por el denominado Water Quality Guidelines Task Group, Hurley et al., (2012). La idea se inspiró en el Índice de Calidad del Agua de Columbia Británica (BCWQI), Zandbergen & Hall, (1998). El índice propuesto es no lineal. El concepto de índices canadienses se basa en la frecuencia de muestreo y medición, la frecuencia de valores fuera de los objetivos requeridos y la desviación del valor recomendado de cada variable, Hurley et al., (2012). El Índice de Calidad de Agua Peruano (ICA-PE) se basa totalmente en este índice.

Últimamente, en el 2016, se desarrolló el West Java WQI empleando el proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés Analytic Hierarchy Process). Dicho procedimiento se usó para calcular pesos basados en 13 parámetros seleccionados de 7 agrupaciones de calidad del agua para ríos en Java Occidental, Indonesia, Sutadian et al., (2017)

A la fecha, varios países y/o agencias han introducido más de 35 modelos WQI para evaluar la calidad del agua superficial en todo el mundo, Uddin et al., (2021). Los modelos WQI se han utilizado en la mayor parte del mundo. Aunque los modelos WQI se han aplicado a todos los tipos principales de cuerpos de agua, el 82 % de las aplicaciones han sido para evaluar la calidad del agua del río, Uddin et

al., (2021). Además, los modelos CCME y NSF se han utilizado en el 50% de los estudios revisados.

2.2.3. Modelos ICA o WQI

Abbasi & Abbasi, (2012a) La estructura de los modelos WQI muestra que la mayoría contienen cuatro pasos principales, los cuales son:

- a. Selección de los parámetros de calidad del agua: se seleccionan uno o más parámetros de calidad del agua para su inclusión en la evaluación.
- b. Generación de los subíndices de los parámetros: concentraciones de los parámetros se convierten a subíndices sin unidades
- c. Asignación de los valores de ponderación de los parámetros: se asignan ponderaciones a los parámetros en función de su importancia para la evaluación
- d. Cálculo del índice de calidad del agua utilizando una función de agregación: los subíndices de los parámetros individuales se combinan utilizando las ponderaciones para obtener un índice general único índice. Por lo general, se utiliza una escala de calificación para categorizar/clasificar la calidad del agua en función del valor del índice general.

Las características principales de los modelos WQI más utilizados se describen en la siguiente sección:

2.2.3.1. Fundación Nacional de Saneamiento WQI (NSF-WQI)

Md. Galal Uddin et al., (2021) El NSF WQI fue desarrollado por Brown, como una versión modificada del modelo de Horton. Se ha utilizado para evaluar la calidad del agua superficial en varios dominios. Al igual que el modelo de Horton, contiene los cuatro componentes básicos de WQI.

- a. Selección de los parámetros de calidad del agua, Abbasi & Abbasi, (2012a), se utilizó la técnica Delphi para seleccionar los parámetros de calidad del agua. El índice NSF propuso once parámetros de calidad del agua divididos en cinco grupos: (1) los parámetros físicos (temperatura, turbidez y sólidos totales), (2) los parámetros químicos (pH y oxígeno disuelto), (3) los parámetros microbiológicos (coliformes fecales y DBO),

- (4) los parámetros de nutrientes (fosfato total y nitratos) y (5) los parámetros tóxicos (pesticidas y compuestos tóxicos).
- b. Generación de los subíndices, Sutadian et al., (2016a) la subindexación de parámetros se desarrolló con base en el juicio de un panel de expertos. Los valores del subíndice variaron de 0 a 1, donde el valor del subíndice se consideró 1 cuando se encontró que el valor medido era dentro de los valores guía recomendados y 0 en caso contrario.
 - c. Ponderación de parámetros, Lobato et al., (2015) El modelo utiliza valores de ponderación de parámetros desiguales que suman 1. Los valores de peso originales se obtuvieron empleando un panel de expertos, pero las aplicaciones posteriores del modelo han utilizado valores de peso modificados para evaluar la calidad del agua superficial. El modelo NSF original prescribía valores de peso para OD (0,17), FC (0,16), pH (0,11), DBO (0,11), temperatura (0,10), fosfato total (0,10), nitratos (0,10), turbidez (0,08) y sólidos totales (0,07). De manera similar, este modelo también consideró la importancia ambiental de los parámetros de calidad del agua para asignar el valor de peso del parámetro.
 - d. Cálculo del NSF-WQI, Krenkel & Novotny, (1980) se asignan factores de ponderación a cada una de las variables en las que se fundamentan, de tal forma que éste puede determinarse por medio de la ecuación 1:

$$WQI = \sum_{i=1}^9 W_i * Q_i \quad (1)$$

Dónde: W_i denota el factor de importancia o ponderación de la variable respecto a las restantes variables que conforman el índice, y Q_i corresponde al factor de escala de la misma.

- e. Evaluación de WQI, el modelo genera un WQI que varía de 0 a 100. 0 indica la peor calidad del agua y 100 indica una excelente calidad del agua. El modelo proponía cinco clases de calidad del agua:
 - excelente (WQI = 90–100)
 - buena (WQI = 70–89)
 - media (WQI = 50–69)
 - mala (WQI = 25–49)
 - muy mala calidad (WQI = 0– 24)

2.2.3.2. Índice de calidad de agua (ICA-PE)

Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos, (2018) De acuerdo con la metodología propuesta para el índice ICA PE por la Autoridad Nacional del Agua, se consideran las siguientes etapas:

- a. Identificación de la Zona de Estudio, para esta etapa se debe analizar el área que comprenderá el estudio; en otras palabras, el curso de agua, pudiendo tratarse de un río o una cuenca interpretada por una red de puntos de monitoreo.
- b. Recopilación de la Data, la data proviene de actividades realizadas por la ANA en el marco del control y la vigilancia de los recursos hídricos. Es recomendado contar con la información mínima indispensable de cuatro parámetros a ser muestreados, analizados y evaluados en al menos cuatro tiempos; mientras que no existe limitación alguna respecto al número de parámetros máximo.
- c. Cálculo del ICA-PE, para el cálculo del ICA-PE, se necesita de los resultados a monitoreos analizados con los ECA, pudiendo desarrollar con ellos la fórmula del ICA-PE que se basa en el índice canadiense (desarrollado por el Consejo de Ministros de Ambiente de Canadá y que fuera modificada por los Ministros del Ambiente de Alberta y Columbia Británica), que comprende tres factores: alcance, frecuencia y amplitud. El resultado es un valor único entre 0 y 100, que va a representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, curso de agua, un río o cuenca.
 - Alcance (F1), representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), respecto al total de parámetros, para calcularlo se utiliza la ecuación 2.

$$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} \quad (2)$$

- Frecuencia (F2), representada por la cantidad de datos que no cumplen con los ECA-Agua respecto al total de datos de los parámetros a evaluar, se calcula mediante la ecuación 3.

$$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que No cumplen los ECA Agua de los datos evaluados}}{(\text{Número Total de Datos Evaluados})} \quad (3)$$

Dónde: Datos = Resultados de los monitoreos

- Amplitud (F3), es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos, se obtiene mediante la ecuación 4.

$$F3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes}+1} * 100 \quad (4)$$

En donde la suma normalizada de excedentes (nse) se calcula mediante la ecuación 5.

$$\text{nse (suma normalizada de excedentes)} = \frac{\sum i \text{ Excedente } i}{\text{Total de datos}} \quad (5)$$

EXCEDENTE, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA - Agua.

Caso 1: Se utiliza la ecuación 6 cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA - Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_q = \frac{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{valor establecido del parámetro en ECA Agua}} - 1 \quad (6)$$

Caso 2: Se utiliza la ecuación 7 cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA - Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5).

$$\text{Excedente}_q = \frac{\text{valor establecido del parámetro en ECA Agua}}{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} - 1 \quad (7)$$

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua mediante la ecuación 8, siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3; valor que se presenta en un rango de 100, como un ICA de excelente calidad a 0, como valor que representa un ICA de pésima calidad.

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \quad (8)$$

El valor del índice de calidad de agua, ICA - PE, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Pésimo (0-29), Malo (30-44), Regular (45-74), Bueno (75-89) y Excelente (90-100).

2.2.4. Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA)

Ministerio del Ambiente - MINAM, (2017) La Ley Peruana como la utilización del DECRETO SUPREMO DS-004-2017-MINAM en su Artículo I: aprobación de los Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para El Agua (ECA – agua) define el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componentes básicos de los ecosistemas acuáticos, que no presentan riesgo significativo para la salud de las personas y medio ambiente, estos a su vez clasifican las aguas nacionales en cuatro categorías que son las siguientes: categoría I, (poblacional y recreacional) categoría II, (actividades marino costeras), categoría III (riego de vegetales y bebida de animales), categoría IV (conservación de ambiente acuático).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Cuenca Hidrográfica

Depresión o forma hidrográfica en la cual desciende la altura del terreno en medida que llega al mar. Las cuencas hidrográficas permiten que el agua proveniente de deshielo o montaña baje hasta el nivel del mar. A veces la cuenca no alcanza el nivel del mar en cuyo caso la formación acuífera forma una laguna o lago, Paun et al., (2016).

2.3.2. Agua potabilizada

El agua potable es especificada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “un recurso apto para satisfacer las necesidades humanas como su consumo, higiene y uso doméstico”. El agua debe presentar las características de agradable, fresca, limpia e inodora, de la misma forma debe pasar un proceso de tratamiento adecuado para evitar el contagio de alguna enfermedad, estos requerimientos son indispensables para su consumo en personas y animales, Organización Mundial de la Salud, (2018).

2.3.3. Sostenibilidad Hídrica

La sostenibilidad hídrica es el proceso que deja satisfecho el requerimiento hídrico de la actualidad, sin complicar las necesidades hídricas de generaciones futuras por satisfacer sus propias necesidades, Organización de las Naciones Unidas, (1987).

2.3.4. Tratamiento Convencional

Proceso por el cual el agua superficial es sometida a un procedimiento con la finalidad de suprimir los contaminantes físico-químicos y microorganismos, hasta ser apta para el consumo humano, según las normativas. El tratamiento consta de diferentes etapas; las cuales su dificultad dependerá de las propiedades del agua superficial Chulluncuy Camacho, (2011).

2.3.5. Temperatura del agua de río

Es una magnitud referida a la noción de calor del cuerpo del agua. Debido a que este parámetro está relacionado con otras propiedades y procesos, como la viscosidad del agua, es que incide significativamente en la calidad del agua. Adicionalmente, puede determinar la solubilidad de los gases y de las sales,

procesos fisiológicos de los organismos que provocan variaciones de su metabolismo, la proliferación de ciertos microorganismos, etc. La detección de altas temperaturas podría estar relacionada a vertimientos de aguas calientes provenientes de procesos industriales como, por ejemplo, aguas residuales de centrales nucleares usadas como refrigerante, *Temperature in Water Quality Properties and Analysis*, (n.d.).

2.3.6. Conductividad del agua de río

Es la dimensión de las cargas iónicas que pasan a través del agua superficial. Esta dimensión nos brinda datos generales de la concentración de sales e iones contenida en el agua. La concentración de sales en el agua se relaciona a distintas causas; como la clase de estrato geológico por el que recorre el agua. Otra de sus fuentes es el depósito de aguas residuales, ya sea en zonas industriales o urbanas.

El aumento de conductividad presenta efectos negativos en el ecosistema fluvial, pudiendo ocasionar una reducción considerable de biodiversidad, *Conductivity in Water, Salinity and Specific Conductance Measurement*, (n.d.).

2.3.7. Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos en suspensión (mg/L) presentan una medida la cual muestra la retención de sólidos previos a atravesar un filtro de 45 μm . El aumento de sólidos suspendidos en la cuenca origina poca presencia de luz en el agua; por lo tanto, una escasez en la producción de organismos y algas dependientes de entrada de luz al agua, Hassan Omer, (2020).

2.3.8. pH

El pH permite medir los iones de hidrógeno concentrados en el agua. El pH de agua limpia tiene un valor desde 6,5 hasta 8. El pH con medidas bajo 7 se considera ácido, pero eso no significa que no pueda potabilizarse a menos que alcance niveles por debajo de 5,5, esto principalmente se da por la presencia de metales en solución debido a emisiones de fábricas, plaguicidas o incluso por cosas naturales. El agua alcalina es agua con un pH superior a 7 y puede ser obtenida naturalmente al caminar entre rocas y recoger minerales, Hassan Omer, (2020).

2.3.9. Oxígeno Disuelto

Mide la cantidad de oxígeno concentrado en el agua, tiene como referencia el 100% de la saturación de oxígeno en el aire. El oxígeno disuelto afecta considerablemente los procesos realizados en el medio acuático. Este elemento es necesario para el metabolismo de organismos vivos, debido al proceso de respiración. Es por ello que el oxígeno es un parámetro de estudio indispensable en el cálculo de la calidad del agua, Hassan Omer, (2020).

2.3.10. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es un procedimiento químico para determinar cuánto oxígeno disuelto requieren los organismos biológicos aeróbicos en una unidad hidrológica para separar los compuestos orgánicos radicados en el agua a una temperatura específica por un periodo de tiempo. Su unidad más común es de mg de oxígeno por litro de agua de muestreo durante 5 días (BOD5) a temperatura de 20°C y es frecuentemente usado en reemplazo del grado de contaminación orgánica, Biochemical Oxygen Demand - BOD Testing and Measurement in Water, n.d.; Hassan Omer, (2020).

El consumo de oxígeno depende de una serie de parámetros como la temperatura, el pH, el contenido de microorganismos y el tipo de material orgánico e inorgánico. Mientras sea más el valor, más rápido se agotará el oxígeno en la cuenca. Por lo tanto, las secuelas de una DBO mayor, serán igual que un oxígeno disuelto bajo, Biochemical Oxygen Demand - BOD Testing and Measurement in Water, (n.d.).

2.3.11. Fosfatos Totales

El fosfato total se compone de ortofosfato, polifosfato y fósforo orgánico. El fósforo en el agua existe principalmente en forma de fosfato, que es la esencia de los nutrientes del suelo y del bioplasma animal y vegetal. El fósforo es un nutriente importante para las plantas en crecimiento. El exceso de fósforo existente en los cuerpos de agua provocará la reproducción masiva de algas y la muerte de otros organismos. Además, la descomposición de las algas agotaría el oxígeno disuelto en el agua y conduciría a la eutrofización, Total Phosphate - Environmental Water Quality Information, (n.d.).

2.3.12.Nitratos-NO₃

Es un ion con un átomo de nitrógeno central rodeado por tres átomos de oxígeno. Se disuelve fácilmente en agua y es un nutriente vegetal esencial que a menudo se aplica a los cultivos para ayudar al crecimiento, Nitrate in Water | Nutrient Monitoring | YSI Nitrate, (n.d.).

Otras fuentes de nitrato en el medio ambiente incluyen la descarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales, los sistemas sépticos, las áreas de almacenamiento de estiércol y las instalaciones industriales, Nitrate in Water | Nutrient Monitoring | YSI Nitrate, (n.d.).

Cuando el exceso de nutrientes, como el nitrato y el fósforo, llega a una masa de agua, el resultado suele ser la proliferación de algas nocivas. Estas floraciones pueden producir toxinas peligrosas y causar una caída en el oxígeno disuelto. Las floraciones de algas en cuerpos de agua que sirven como fuentes de agua potable son especialmente problemáticas, Nitrate in Water | Nutrient Monitoring | YSI Nitrate, (n.d.).

2.3.13. Parámetros microbiológicos

Los organismos patógenos pertenecen al conjunto de coliformes, la presencia de coliformes en el agua no siempre es responsable de enfermedades, debido a que no todos los coliformes son patógenos, sin embargo, es necesaria un agua libre de organismos coliformes para ser considerada de consumo humano y uso doméstico, Oocities, (2009).

2.3.14. Metales Pesados

Son los elementos químico-metálico con densidad alta, siendo a su vez tóxico y/o venenoso a baja concentración. Estos elementos se encuentran de forma natural en la corteza terrestre, ya que no pueden ser destruidos ni degradados. Representan un riesgo en pequeñas cantidades, debido a que pueden ingresar por nuestro cuerpo mediante alimentos, agua y aire, Alstead, (2013).

2.3.15.Arsénico

Es un elemento químico-metálico con número atómico de 33. El arsénico es reconocido por ser un elemento pesado y muy tóxico, se puede presentar en arseniato y arsenito. Principalmente se encuentra en la corteza terrestre, piedras y

suelos, con procedencia en los desechos industriales y/o pesticidas, Jimenez Cotrina & Llico Portal, (2020).

2.3.16.Boro

Clasificado como elemento semiconductor, metaloide, trivalente que existe principalmente en el mineral bórax. La presencia del elemento indica efectos tóxicos en gran variedad de productos agrícolas. El Boro no se encuentra superficialmente en la corteza terrestre, debido a su alta toxicidad, su uso para elaborar abrasivos y sus aplicaciones al campo de la energía atómica, Alstead, (2013).

2.3.17.Hierro

El hierro es un metal maleable, de matiz gris plateada y con características magnéticas. Es el cuarto material que más existe en la corteza terrestre; pero principalmente es escasa su concentración en las aguas superficiales. El pH y potencial redox del agua indican la forma y solubilidad del hierro en las aguas superficiales, Jimenez Cotrina & Llico Portal, (2020).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

La presente investigación es “No experimental” debido a que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural y se proceden a analizarlos.

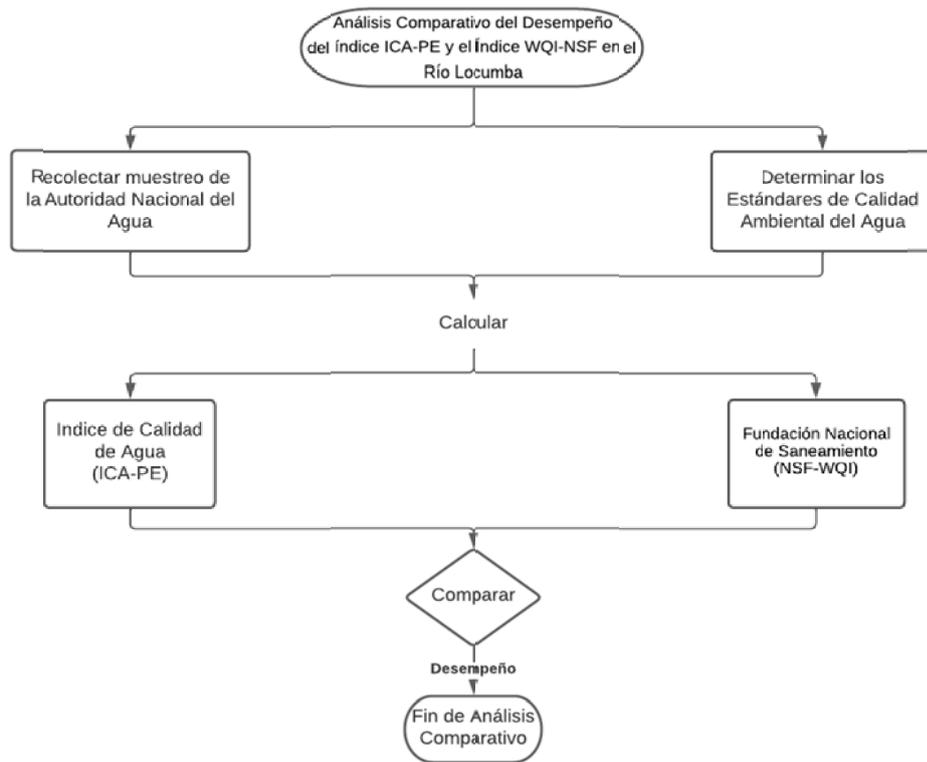
3.2. Acciones y actividades

En un inicio se recolectó información del muestreo de las características del Agua, realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), y se seleccionaron los parámetros de calidad de agua a ser usados para el cálculo de los índices de calidad de agua. Posteriormente, se determinó la clasificación del Río Locumba según los Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para El Agua.

Finalmente, se estudió el problema en base a las metodologías para el Cálculo del Índice de Calidad de Agua más empleadas en el Perú (ICA-PE y NSF-WQI); procediendo a aplicar ambas metodologías en el Río Locumba, para su posterior análisis comparativo, como se indica en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo de acciones y actividades



3.3. Materiales y/o instrumentos

Instrumentos:

- a. Recolección de Datos: Muestreo de la ANA.
- b. Estándares de Calidad Ambiental del Agua: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.
- c. Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales: Resolución Jefatural N°068-2018-ANA
- d. Microsoft Excel 2019
- e. Metodología WQI-NSF: Validating the WQI

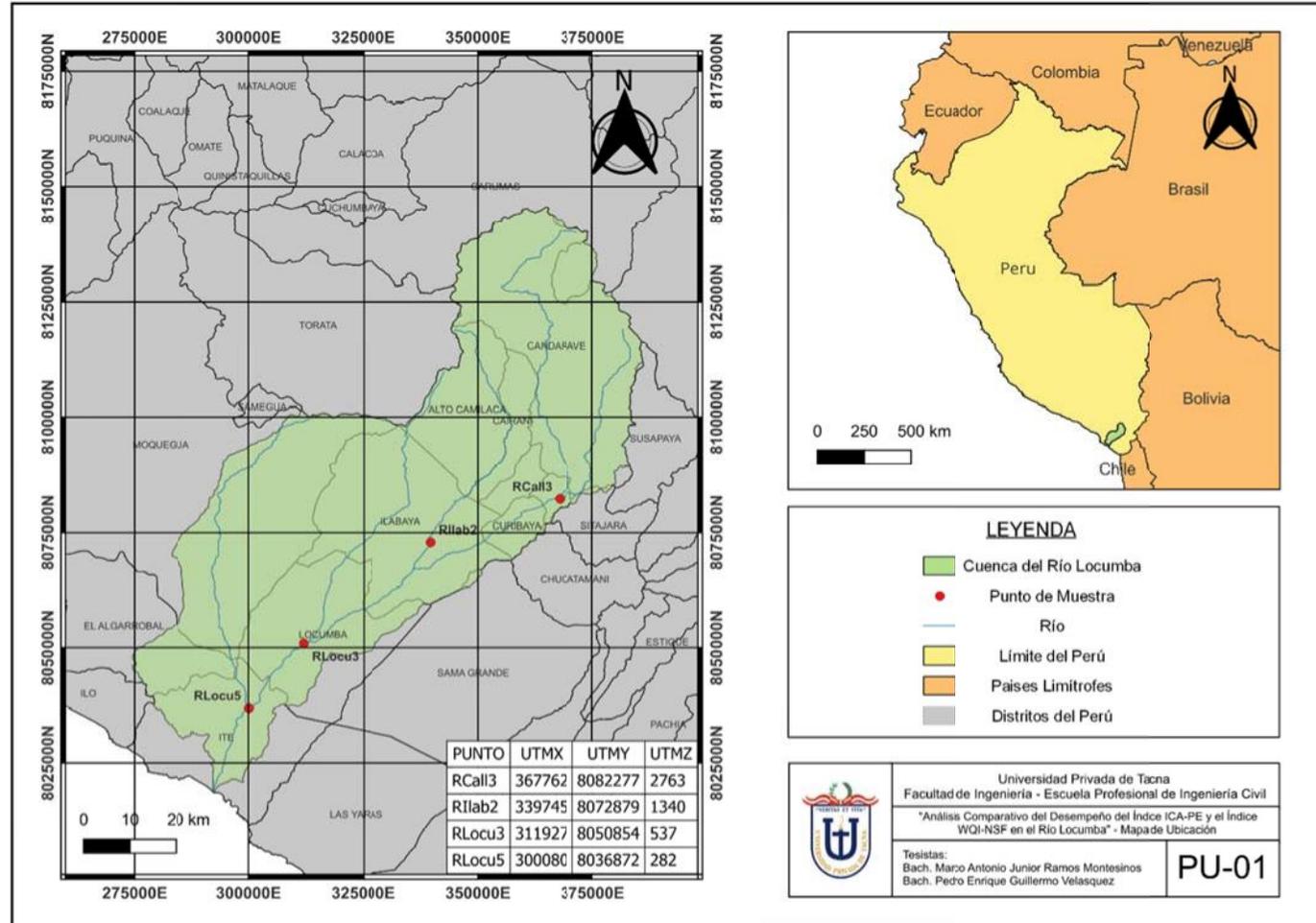
3.4. Población y/o muestra de estudio

Población: Ríos de la Cuenca Locumba indicados en la Figura 2.

Muestras de Estudio: Puntos de Muestreo, indicados en la Figura 2, los cuales son:

- a. RLocu 5
- b. RLocu 3
- c. Rllab 2
- d. RCall

Figura 2
 Mapa de Ubicación de los puntos de muestreo en el Río Locumba



3.5. Operacionalización de variables

La Tabla 1 indica la operacionalización de variables de la presente tesis.

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Índice de Calidad de Agua	Valor numérico que clasifica la calidad del agua de los ríos superficiales.	ICA-PE NSF-WQI	Excelente Bueno Regular Malo Pésimo

3.6. Procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Selección de parámetros

Si bien la mayoría de WQI utilizan un conjunto fijo de parámetros, la selección de parámetros es un paso esencial en el cálculo de un índice, ya que los parámetros seleccionados son los componentes principales de un WQI, Sutadian et al., (2016b). De acuerdo con el tipo de selección de parámetros, los índices se pueden dividir en tres categorías: índices con sistemas fijos, abiertos y mixtos, Sutadian et al., (2016b).

El ICA-PE, basado enteramente en el CCME WQI, es un índice con un sistema de selección de parámetros abierto, ya que proporciona flexibilidad en la elección de los parámetros de calidad del agua que se incluirán en el modelo, Uddin et al., (2021). El modelo CCME WQI requiere el uso de un mínimo de cuatro parámetros de calidad del agua, pero no especifica cuáles; generalmente, se sugiere utilizar la evaluación del panel de expertos, Uddin et al., (2021). Por otro lado, el NSF-WQI es un índice con un sistema de selección de parámetros fijo, en consecuencia, el usuario solo puede utilizar los parámetros seleccionados para el cálculo del índice final, Sutadian et al., (2016b).

La Autoridad Nacional del Agua, en base a criterios técnicos y características propias de la cuenca Locumba, ha implementado una red monitoreo de 38 puntos de muestreo. Dicha red incluye la toma de muestras en ríos, quebradas y lagunas en el periodo del 2011 al 2019, Figueroa Zavala et al., (2020). Los parámetros muestreados se dividen en tres grupos: parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos y parasitológicos. En total, en cada campaña, se

muestran un promedio de 42 parámetros, por lo que se hace necesaria una depuración de los mismos para poder calcular los índices del presente estudio.

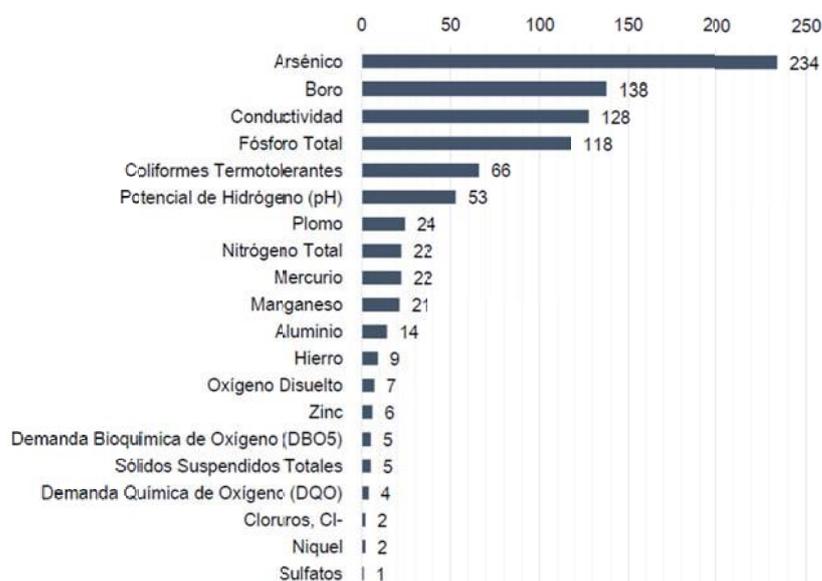
La depuración es un paso inicial que, en la presente investigación consta de dos criterios. Una primera depuración “basada en el índice NSF” y una segunda depuración “basada en parámetros”.

En la depuración basada en el Índice NSF-WQI, se consideraron los 9 parámetros convencionales utilizados para su cálculo (como lo indica (X) en la columna 4 de la Tabla 2), Marselina et al. 2022; Uddin et al., (2021). Esta primera depuración se hizo únicamente considerando el índice NSF debido a que para el índice ICA-PE o CC E no existe una lista de parámetros establecidos.

Para la depuración basada en parámetros, se consideraron dos criterios: la disponibilidad de datos y los datos que exceden los ECAs. Con respecto a la disponibilidad de datos, sólo se consideraron los que han sido medidos en la misma fecha en todos los 4 puntos de muestreo (como lo indica (X) en la columna 5 de la Tabla 2). Los parámetros que exceden los ECAs (como lo indica (X) en la columna 6 de la Tabla 2) se tomaron del Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Unidad Hidrográfica Locumba elaborado en el 2020 por la Autoridad Nacional del Agua, demostrado en la Figura 3.

Figura 3

Veces en que se transgrede el ECA para agua por parámetro en la Cuenca Locumba, al 2020



Nota: De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua, el elemento químico inorgánico con mayor presencia y que supera significativamente los límites permisibles es el arsénico, seguido del boro. Esto se debe a la geología natural de la zona, específicamente a la actividad geotermal en las nacientes de la cuenca. Tomado de

Tabla 2
Criterios para la selección de parámetros

No	Parámetros de calidad de agua	Unidades	Depuración		
			Basada en el índice NSF-WQI	Basada en parámetros	
(1)	(2)	(3)	(4)	Disponibilidad de datos	Exceden los ECAs
				(b)	(b)
I	FÍSICOS				
1	Temperatura	°C	X	X	
2	Conductividad eléctrica	(μS/cm)	X	X	X
3	Turbiedad	NTU			
4	Sólidos suspendidos	mg/L			
5	Sólidos totales	mg/L			
6	Sólidos suspendidos totales	mg/L	X	X	X
II	QUÍMICOS				
	pH	Unidad de PH	X	X	X
1	Oxígeno disuelto	mg/L	X	X	X
2	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	X	X	X
3	Demanda química de oxígeno	mg/L		X	X
4					
III	MICROBIOLÓGICOS				
1	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	X	X	X
IV	NUTRIENTES				
1	Fosfatos Totales	mg/L	X	X	X
2	Nitratos (NO ₃ -)	mg/L	X	X	
V	TÓXICOS, PESTICIDAS Y METALES TRAZA				
1	Arsénico	mg/L		X	X
2	Boro	mg/L		X	X
3	Fenoles	μg/L			
4	Detergentes	μg/L			

3.6.2. Estándares de calidad ambiental en el Río Locumba

Luego de determinar la clasificación según los Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para El Agua y la recolección de datos del muestreo de las características del Agua, realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) por cada Punto de Muestreo. Se obtiene el resumen mostrado en la Tabla 3, 4, 5 y 6.

Tabla 3*Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto RLocu3*

N°	Parámetro	Unidad	Año - Mes de muestreo			Estándares de calidad ambiental	
			2012-08	2016-10	2019-08	Agua Potable	Agua para riego
1	Temperatura	Δ°C	8,9	-3,98	8,1	Δ 3	Δ 3
2	Conductividad	(μS/cm)	1892	2250	1486	1600	2500
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	276	23	5	1000	-
4	pH	Unidad de PH	7,9	8,09	9,31	5,5-9,0	6,5-8,5
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	8,4	7,6	9,26	≥ 5	≥ 4
6	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	350	7900	240	2000	1000
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 6	< 3	< 2	5	15
8	Fosfatos Totales	mg/L	0,227	0,068	< 0,012	0,15	-
9	Nitratos-NO3	mg/L	0,084	< 0,009	< 0,009	50	100
10	Arsénico	mg/L	0,428	0,41	0,3911	0,01	0,1
11	Boro	mg/L	7,32	6,132	6,056	2,4	1

Tabla 4*Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto RLocu5*

N°	Parámetro	Unidad	Año - Mes de muestreo			Estándares de calidad ambiental	
			2012-08	2016-10	2019-08	Agua Potable	Agua para riego
1	Temperatura	Δ°C	8,5	0,77	6,2	Δ 3	Δ 3
2	Conductividad	(μS/cm)	2080	2520	1705	1600	2500
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	622	62	6	1000	-
4	pH	Unidad de PH	8,17	8,12	9,15	5,5-9,0	6,5-8,5
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	10,91	9,24	9,92	≥ 5	≥ 4
6	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	5400	330	17	2000	1000
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 6	< 3	< 2	5	15
8	Fosfatos Totales	mg/L	< 0,038	0,069	< 0,012	0,15	-
9	Nitratos-NO3	mg/L	0,142	< 0,012	< 0,009	50	100
10	Arsénico	mg/L	0,475	0,443	0,411	0,01	0,1
11	Boro	mg/L	7,5	6,619	7,515	2,4	1

Tabla 5*Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto RCall3*

N°	Parámetro	Unidad	Año - Mes de muestreo			Estándares de calidad ambiental	
			2012-08	2016-10	2019-08	Agua Potable	Agua para riego
1	Temperatura	Δ°C	4,7	2	-0,7	Δ 3	Δ 3
2	Conductividad	(μS/cm)	2130	2340	1821	1600	2500
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	30	14	23	1000	-
4	pH	Unidad de PH	7,8	8,13	8,75	5,5 – 9,0	6,5 – 8,5
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	9,14	7,22	7,34	≥ 5	≥ 4
6	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	49	4,5	70	2000	1000
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 6	< 3	3	5	15
8	Fosfatos Totales	mg/L	< 0,038	0,11	< 0,012	0,15	-
9	Nitratos-NO3	mg/L	1,093	0,305	0,622	50	100
10	Arsénico	mg/L	1,164	0,812	0,9673	0,01	0,1
11	Boro	mg/L	11,12	9,284	9,13	2,4	1

Tabla 6*Resumen de los muestreos de agua superficial de la ANA en el punto Rllab2*

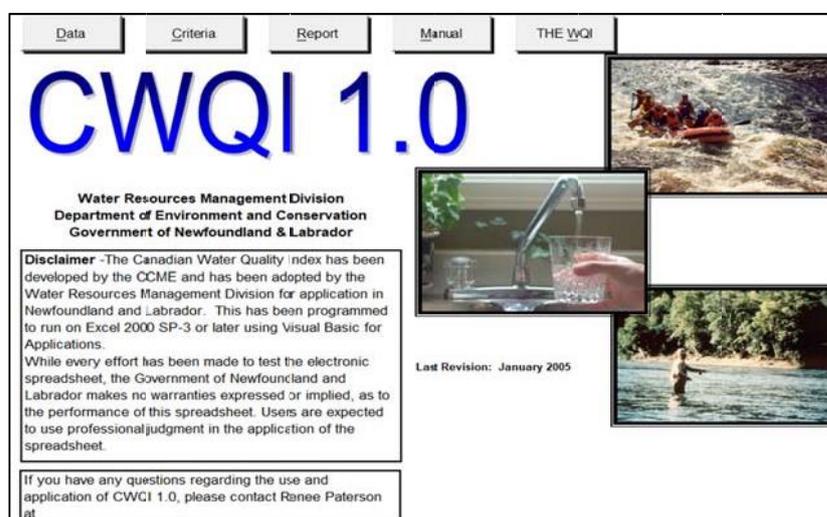
N°	Parámetro	Unidad	Año - Mes de muestreo			Estándares de calidad ambiental	
			2012-08	2016-10	2019-08	Agua Potable	Agua para riego
1	Temperatura	Δ°C	5,9	-1,47	4,9	Δ 3	Δ 3
2	Conductividad	(μS/cm)	1349	1619	1142	1600	2500
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	12	5	1141	1000	-
4	pH	Unidad de PH	8,2	8,1	8,88	5,5 – 9,0	6,5 – 8,5
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	8,94	7,86	8,14	≥ 5	≥ 4
6	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	33000	4900	23	2000	1000
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 6	< 3	< 2	5	15
8	Fosfatos Totales	mg/L	< 0,038	0,027	< 0,012	0,15	-
9	Nitratos-NO3	mg/L	1,032	2,398	2,269	50	100
10	Arsénico	mg/L	0,093	0,06	0,0689	0,01	0,1
11	Boro	mg/L	4,64	3,144	2,903	2,4	1

3.6.3. Cálculo del ICA-PE

Habiendo recolectado los datos necesarios, se calcula el Índice de Calidad de Agua aplicando la Metodología del ICA-PE.

Debido a que la Metodología ICA-PE se encuentra adoptada del Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME-WQI, se procede a utilizar el Programa “Canadian Water Quality Index 1.0 Calculator”, indicado en la Figura 4, para resolver las fórmulas necesarias desde los datos recolectados en cada Punto de Muestreo.

Figura 4
Programa “Canadian Water Quality Index 1.0 Calculator”



Primero procedemos a definir las Variables o Parámetros a ser utilizados para calcular el Índice de Calidad del Agua (Figura 5).

Figura 5
Variables para el Cálculo del ICA-PE ingresados en el Programa

User Defined Data Format			
	Variables	Symbol	Units
1	Temperature	Temp	oC
2	Conductivity	Condl	uS/cm
3	Total Suspended Solids	TSS	mg/L
4	pH	pH	
5	Dissolved Oxygen	DO	mg/L
6	Fecal Coliform	FC	
7	Biochemical Oxygen Demand	BOD	mg/L
8	Phosphorus(Total Phosphorus)	P	mg/L
9	Nitrate(ite),(Nitrite)	NO3-(NO2-)	mg/L
10	Arsenic	As	mg/L
11	Boron	B	mg/L

Luego ingresamos los límites permisibles debido a la clasificación del Río y uso del Agua obtenidos de los Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para El Agua, de la misma forma que se indica en la Figura 6.

Figura 6

Límites establecidos por el ECA agua e ingresados en el Programa

User Defined Data Format			Drinking		Irrigation	
Variables	Symbol	Units	Lower	Upper	Lower	Upper
1 Temperature	Temp	oC	-3	3	-3	3
2 Conductivity	Condl	uS/cm		1600		2500
3 Total Suspended Solids	TSS	mg/L		1000		
4 pH	pH		5.5	9	6.5	8.5
5 Dissolved Oxygen	DO	mg/L	5		4	
6 Fecal Coliform	FC			2000		1000
7 Biochemical Oxygen Demand	BOD	mg/L		5		15
8 Phosphorus(Total Phosphorus)	P	mg/L		0.15		
9 Nitrate(ite),(Nitrite)	NO3-(NO2-)	mg/L		50		100
10 Arsenic	As	mg/L		0.01		0.1
11 Boron	B	mg/L		2.4		1

Para finalmente, como en la Figura 7, agregar las calificaciones establecidas del estado de la calidad del agua para el ICA-PE.

Figura 7

Clasificaciones de la Calidad del agua según el ICA-PE

Ranking Categories	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Irrigation	Livestock
Excellent	90	90	90	90	90	90
Good	75	75	75	75	75	75
Fair	45	45	45	45	45	45
Marginal	30	30	30	30	30	30
Poor	0	0	0	0	0	0

Procedemos a ingresar los datos obtenidos en nuestras tablas resumen y por cada Punto de Muestreo para finalmente obtener nuestros F1, F2, F3 y el valor del Índice de Calidad (CWQI); dando como resultado la Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11.

Figura 8*Resultado del ICA-PE en el Punto RLocu3*

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Irrigation	Livestock
CWQI	N/A	20	N/A	N/A	48	N/A
Categorization	No Data	Poor	No Data	No Data	Fair	No Data
F1 (Scope)		82			56	
F2 (Frequency)		53			38	
F3 (Amplitude)		99			58	
Minimal Dataset Requirement of 4 Variables	Not Met	Met	Not Met	Not Met	Met	Not Met

Figura 9*Resultado del ICA-PE en el Punto RLocu5*

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Irrigation	Livestock
CWQI	N/A	36	N/A	N/A	44	N/A
Categorization	No Data	Marginal	No Data	No Data	Marginal	No Data
F1 (Scope)		64			67	
F2 (Frequency)		42			41	
F3 (Amplitude)		81			57	
Minimal Dataset Requirement of 4 Variables	Not Met	Met	Not Met	Not Met	Met	Not Met

Figura 10*Resultados del ICA-PE en el Punto RCall3*

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Irrigation	Livestock
CWQI	N/A	38	N/A	N/A	50	N/A
Categorization	No Data	Marginal	No Data	No Data	Fair	No Data
F1 (Scope)		45			44	
F2 (Frequency)		34			31	
F3 (Amplitude)		90			67	
Minimal Dataset Requirement of 4 Variables	Not Met	Met	Not Met	Not Met	Met	Not Met

Figura 11*Resultados del ICA-PE en el Punto Rllab2*

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Irrigation	Livestock
CWQI	N/A	46	N/A	N/A	52	N/A
Categorization	No Data	Fair	No Data	No Data	Fair	No Data
F1 (Scope)		64			44	
F2 (Frequency)		41			31	
F3 (Amplitude)		55			63	
Minimal Dataset Requirement of 4 Variables	Not Met	Met	Not Met	Not Met	Met	Not Met

3.6.4. Cálculo del NSF-WQI

Para el cálculo del NSF-WQI utilizamos los 9 parámetros seleccionados e indicados en la Tabla 2 y Tabla 11, de las últimas fechas de muestreo (2019-08) recopiladas de la información de la ANA, resumidas en la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

Siendo denominada como "Mean Value" para efectos del cálculo, ubicadas en la columna 4 en la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10. En el caso del Oxígeno

Disuelto se realiza una conversión de mg/L a % de Saturación. Procediendo a

dividir su valor propio entre el 100% de oxígeno Disuelto en el Agua a la misma temperatura de la Muestra.

Los valores del W_i , ubicados en la columna 3 en la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10, fueron considerados los establecidos según la Metodología NSF para el cálculo con 9 parámetros, Uddin et al., (2021).

Mientras que los Valores Q_i fueron ubicados en la columna 5 en la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10; y se obtuvieron de la interpolación de los "Mean Value" en los diagramas de estandarización Q del Anexo 2.

Finalmente se procede a realizar la sumatoria del producto de los valores W_i y Q_i de cada parámetro ubicado en la columna 6 en la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10, para obtener el valor NSF-WQI de cada punto de muestreo.

Tabla 7
Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto RLocu3

N° (1)	Parameter (2)	Weight (W_i) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Q_i) (5)	W_iQ_i (6)
1	Temperatura	0,1	8,1	55,09	5,509
2	Conductividad	0,08	1486	25,47	2,0376
3	Solidos Suspendidos Totales	0,07	5	80,5	5,635
4	pH	0,11	9,31	38,67	4,2537
5	Oxígeno Disuelto	0,17	103,58%	98,61	16,7637
6	Coliformes Termotolerantes	0,16	240	36,67	5,8672
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,11	2	80	8,8
8	Fosfatos Totales	0,1	0,012	99,52	9,952
9	Nitratos-NO3	0,1	0,009	96,99	9,699
				ΣWQ_i	68,5172

Tabla 8
Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto RLocu5

N° (1)	Parameter (2)	Weight (W_i) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Q_i) (5)	W_iQ_i (6)
1	Temperatura	0,1	6,2	66,07	6,607
2	Conductividad	0,08	1705	18,17	1,4536
3	Solidos Suspendidos Totales	0,07	6	80,8	5,656
4	pH	0,11	9,15	43,87	4,8257
5	Oxígeno Disuelto	0,17	114,02%	93,59	15,9103

(continúa)

Tabla 8 (continuación)

6	Coliformes Termotolerantes	0,16	17	67,1	10,736
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,11	2	80	8,8
8	Fosfatos Totales	0,1	0,012	99,52	9,952
9	Nitratos-NO3	0,1	0,009	96,99	9,699
				ΣWQi	73,6396

Tabla 9

Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto RCall3

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,1	-0,7	90,34	9,034
2	Conductividad	0,08	1821	14,3	1,144
3	Solidos Suspendidos Totales	0,07	23	84,15	5,8905
4	pH	0,11	8,75	57,33	6,3063
5	Oxígeno Disuelto	0,17	83,79%	89,84	15,2728
6	Coliformes Termotolerantes	0,16	70	52,4	8,384
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,11	3	67	7,37
8	Fosfatos Totales	0,1	0,012	99,52	9,952
9	Nitratos-NO3	0,1	0,622	96,38	9,638
				ΣWQi	72,9916

Tabla 10

Cálculo del NSF-WQI con 9 parámetros en el punto Rllab2

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,1	4,9	73,4	7,34
2	Conductividad	0,08	1142	36,93	2,9544
3	Solidos Suspendidos Totales	0,07	1141	20	1,4
4	pH	0,11	8,88	52,71	5,7981
5	Oxígeno Disuelto	0,17	84,53%	90,44	15,3748
6	Coliformes Termotolerantes	0,16	23	64,1	10,256
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,11	2	80	8,8
8	Fosfatos Totales	0,1	0,012	99,52	9,952
9	Nitratos-NO3	0,1	2,269	93,66	9,366
				ΣWQi	71,2413

3.6.5. Cálculo del NSF-WQI – 11 parámetros

A través del procedimiento mencionado en el ítem 3.6.1., se seleccionaron los 11 parámetros necesarios para el cálculo del NSF – 11P. Estos parámetros son: Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Suspendedos Totales en el grupo de los parámetros físicos (SST); pH en el grupo de los químicos, Oxígeno Disuelto (OD) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en el grupo de los de agotamiento de oxígeno; Coliformes Termotolerantes en el grupo de los microbiológico; Fosfatos Totales (PT) y Nitratos (NO₃) en el grupo de los nutrientes y; Arsénico (As) y Boro (Bo) en el grupo de metales pesados; indicando cada grupo y parámetro en la Figura 12.

Figura 12

Parámetros de calidad de agua del NSF-WQI 11 parámetros



La determinación de los pesos de los parámetros de calidad del agua se realizó utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés, Analytic Hierarchy Process), con un solo nivel de jerarquía con respecto a los 11 parámetros individuales. Para la elaboración de la matriz de comparación por pares utilizada en AHP se tomó como base la investigación realizada por Sutadian et al. (2017), manteniendo las proporciones de los pesos establecidos en el NSF-WQI convencional (9 parámetros). En dicha investigación, el AHP se realizó con la colaboración de expertos como, funcionarios gubernamentales, académicos, investigadores y consultores.

De la investigación de Sutadian et al. (2017), se tomaron los pesos más altos asignados a 3 grupos indicados en la Tabla 11 y los cuales son: agotamiento de oxígeno (0,233), microbiología (0,249) y parámetros de metales pesados (0,221). El resto de grupos se distribuyó proporcionalmente de acuerdo al índice NSF-WQI convencional de 9 parámetros.

Tabla 11*Pesos por grupo de parámetros para el índice NSF-WQI*

N°	NSF - 9P		NSF - 11P	
	Grupo de parámetros	Peso	Grupo de parámetros	Peso
1	Físicos	0,25	Físicos	0,0775
2	Químicos	0,11	Químicos	0,0341
3	Agotamiento de oxígeno	0,28	Agotamiento de oxígeno	0,223
4	Microbiológicos	0,16	Microbiológicos	0,249
5	Nutrientes	0,20	Nutrientes	0,1954
6	Metales pesados	--	Metales pesados	0,221
	TOTAL	1,00	TOTAL	1,000

Posteriormente, en base a la nueva ponderación por grupos, se proporcionaron cada uno de los parámetros en base al índice NSF convencional 9 parámetros indicado en la Tabla 12.

Tabla 12*Pesos por parámetro para el índice NSF-WQI*

N°	NSF - 9P		NSF - 11P	
	Parámetros	Peso	Parámetros	Peso
1	Temperatura	0,1	Temperatura	0,0310
2	CE	0,08	CE	0,0248
3	SST	0,07	SST	0,0217
4	pH	0,11	pH	0,0341
5	OD	0,17	OD	0,1354
6	DBO5	0,11	DBO5	0,0876
7	Coliformes Termotolerantes	0,16	Coliformes Termotolerantes	0,2490
8	Fosfatos Totales	0,1	Fosfatos Totales	0,0977
9	Nitratos (NO ₃ -)	0,1	Nitratos (NO ₃ -)	0,0977
10			Arsénico	0,1105
11			Boro	0,1105
	TOTAL	1,00	TOTAL	1,00

Finalmente, se repite el procedimiento aplicado en el ítem 3.6.4., adicionando las curvas de calificación (rating curve) para los parámetros del arsénico y boro. Este procedimiento se encuentra sintetizado en las Tablas 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Tabla 13*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu3 para consumo humano*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	8,1	55,09	1,70779
2	Conductividad	0,0248	1486	25,47	0,631656
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	5	80,5	1,74685
4	pH	0,0341	9,31	38,67	1,318647
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	103,58%	98,61	13,351794
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	240	36,67	9,13083
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,0876	2	80	7,008
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	0,009	96,99	9,475923
10	Arsénico	0,1105	0,3911	0	0
11	Boro	0,1105	6,056	0	0
				ΣWQi	<u>54,094594</u>

Tabla 14*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu5 para consumo humano*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	6,2	66,07	2,04817
2	Conductividad	0,0248	1705	18,17	0,450616
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	6	80,8	1,75336
4	pH	0,0341	9,15	43,87	1,495967
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	114,02%	93,59	12,672086
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	17	67,1	16,7079
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,0876	2	80	7,008
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	0,009	96,99	9,475923
10	Arsénico	0,1105	0,411	0	0
11	Boro	0,1105	7,515	0	0
				ΣWQi	<u>61,335126</u>

Tabla 15*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RCall3 para consumo humano*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	-0,7	90,34	2,80054
2	Conductividad	0,0248	1821	14,3	0,35464
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	23	84,15	1,826055
4	pH	0,0341	8,75	57,33	1,954953
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	83,79%	89,84	12,164336
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	70	52,4	13,0476
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,0876	3	67	5,8692
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	0,622	96,38	9,416326
10	Arsénico	0,1105	0,9673	0	0
11	Boro	0,1105	9,13	0	0
				ΣWQi	<u>57,156754</u>

Tabla 16*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto Rllab2 para consumo humano*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	4,9	73,4	2,2754
2	Conductividad	0,0248	1142	36,93	0,915864
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	1141	20	0,434
4	pH	0,0341	8,88	52,71	1,797411
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	84,53%	90,44	12,245576
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	23	64,1	15,9609
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,0876	2	80	7,008
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	2,269	93,66	9,150582
10	Arsénico	0,1105	0,0689	0	0
11	Boro	0,1105	2,903	0	0
				ΣWQi	<u>59,510837</u>

Tabla 17*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu3 para irrigación*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	8,1	55,09	1,70779
2	Conductividad	0,0248	1486	25,47	0,631656
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	5	80,5	1,74685
4	pH	0,0341	9,31	38,67	1,318647
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	103,58%	98,61	13,351794
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	240	36,67	9,13083
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,0876	2	80	7,008
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	0,009	96,99	9,475923
10	Arsénico	0,1105	0,3911	0	0
11	Boro	0,1105	6,056	0	0
				ΣWQi	<u>54,094594</u>

Tabla 18*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto RLocu5 para irrigación*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	6,2	66,07	2,04817
2	Conductividad	0,0248	1705	18,17	0,450616
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	6	80,8	1,75336
4	pH	0,0341	9,15	43,87	1,495967
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	114,02%	93,59	12,672086
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	17	67,1	16,7079
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,0876	2	80	7,008
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	0,009	96,99	9,475923
10	Arsénico	0,1105	0,411	0	0
11	Boro	0,1105	7,515	0	0
				ΣWQi	<u>61,335126</u>

Tabla 19*NSF-WQI con 11 parámetros en el punto Rcall3 para irrigación*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	-0,7	90,34	2,80054
2	Conductividad	0,0248	1821	14,3	0,35464
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	23	84,15	1,826055
4	pH	0,0341	8,75	57,33	1,954953
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	83,79%	89,84	12,164336
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	70	52,4	13,0476
7	Demanda Bioquímica de Oxigeno	0,0876	3	67	5,8692
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	0,622	96,38	9,416326
10	Arsénico	0,1105	0,9673	0	0
11	Boro	0,1105	9,13	0	0
				ΣWqi	<u>57,156754</u>

Tabla 20*Cálculo del NSF-WQI con 11 parámetros en el punto Rilab2 para irrigación*

N° (1)	Parameter (2)	Weight (Wi) (3)	Mean Value (4)	Q-Value(Qi) (5)	WiQi (6)
1	Temperatura	0,031	4,9	73,4	2,2754
2	Conductividad	0,0248	1142	36,93	0,915864
3	Solidos Suspendidos Totales	0,0217	1141	20	0,434
4	pH	0,0341	8,88	52,71	1,797411
5	Oxígeno Disuelto	0,1354	84,53%	90,44	12,245576
6	Coliformes Termotolerantes	0,249	23	64,1	15,9609
7	Demanda Bioquímica de Oxigeno	0,0876	2	80	7,008
8	Fosfatos Totales	0,0977	0,012	99,52	9,723104
9	Nitratos-NO3	0,0977	2,269	93,66	9,150582
10	Arsénico	0,1105	0,0689	31,1	3,43655
11	Boro	0,1105	2,903	0	0
				ΣWQi	<u>62,947387</u>

3.6.6. Evaluación del desempeño de los índices

La comparación del desempeño de los índices ICA-PE, NSF-WQI 9 parámetros y NSF-WQI 11 parámetros se realizó en base a la literatura, el desarrollo de la presente investigación y el diagnóstico de calidad de agua realizado en la cuenca Locumba por la Autoridad Nacional del Agua.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Identificación de los principales parámetros que comprometen la calidad de agua en el Río Locumba

La Tabla 21 presenta el resumen de los parámetros usados para cada índice de calidad de agua.

Tabla 21

Parámetros usados en cada índice de calidad de agua

No	ICA - PE	NSF - 9P	NSF - 11P
1	Temperatura	Temperatura	Temperatura
2	CE	CE	CE
3	SST	SST	SST
4	pH	pH	pH
5	OD	OD	OD
6	DBO5	DBO5	DBO5
7	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Termotolerantes
8	Fosfatos Totales	Fosfatos Totales	Fosfatos Totales
9	Nitratos (NO ₃ -)	Nitratos (NO ₃ -)	Nitratos (NO ₃ -)
10	Arsénico		Arsénico
11	Boro		Boro

4.2. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE

La Tabla 22 muestra los resultados del ICA-PE, tanto para agua para consumo humano como para agua a ser usada en irrigación.

Tabla 22

Resultados según el ICA-PE

Punto	ICA-PE		Categorización	
	Consumo Humano	Irrigación	Consumo Humano	Irrigación
RCall3	38	50	Malo	Regular
Rllab2	46	52	Regular	Regular
RLocu3	20	48	Pésimo	Malo
RLocu5	36	44	Malo	Malo

4.3. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI – 9 parámetros

La Tabla 23 muestra los resultados del NSF-WQI 9 Parámetros, sin distinción de uso de agua.

Tabla 23
Resultados según el NSF-WQI con 9 parámetros

Punto	9 Parámetros	
	NSF-WQI	Categorización
Rcall3	69	Moderado
Rllab2	74	Bueno
RLocu3	73	Bueno
RLocu5	71	Bueno

4.3.1. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI – 11 parámetros

La Tabla 24 muestra los resultados del NSF-WQI 11 Parámetros, tanto para agua para consumo humano como para agua a ser usada en irrigación.

Tabla 24
Resultados según el NSF-WQI con 11 parámetros

Punto	11 Parámetros			
	NSF-WQI		Categorización	
	Consumo Humano	Irrigación	Consumo Humano	Irrigación
Rcall3	54	54	Moderado	Moderado
Rllab2	61	61	Moderado	Moderado
RLocu3	57	57	Moderado	Moderado
RLocu5	60	63	Moderado	Moderado

4.4. Evaluación del desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba

La Tabla 25 presenta las ventajas y desventajas de cada índice en base a la literatura y a las apreciaciones a las que se llegó durante el desarrollo de la presente investigación. Asimismo, muestra un contraste con diagnóstico de calidad de agua realizado en la cuenca Locumba por la Autoridad Nacional del Agua.

Tabla 25*Evaluación del desempeño del índice ICA-PE y NSF-WQI*

Índice	Criterio de evaluación	Ventajas	Desventajas
ICA - PE	Selección de parámetros	Permite flexibilidad con respecto al tipo y la cantidad de parámetros de calidad del agua utilizados; elegido en función del propósito de utilización del agua y la disponibilidad de datos.	Disparidad en la selección de los parámetros de calidad del agua y las escalas de calidad establecidas. Podría darse el caso de que algunos ECA peruanos sean más flexibles que los recomendados por organismos internacionales.
	Proceso de determinación del WQI	Más objetivo porque se basa en el estándar de calidad del agua de Perú. Se puede hacer una evaluación temporal, es decir, evaluar la calidad de agua de varios años.	El método de agregación utilizado es un poco complejo porque tiene que calcular primero los valores F1, F2 y F3. Al evaluar la calidad de agua de varios años, puede que se desvirtúe la calidad actual del punto de muestreo.
	Resultados del WQI	Son más semejantes a los reportados por la ANA.	Al utilizar la ANA la misma metodología en la mayoría de índices, todos de ellos basados en el CCEM, podría estar reflejándose el mismo error.
NSF - WQI 9P	Selección de parámetros	Usa pocos parámetros	Solo refleja el efecto de los parámetros de calidad del agua que indica el índice.
	Proceso de determinación del WQI	El método de agregación es sencillo y fácil de usar.	Los pesos individuales para cada parámetro determinados por expertos son subjetivos. La ponderación individual crea problemas de sensibilidad. El método de agregación es propenso a un problema de "eclipsamiento". Las curvas existentes no diferencian el tipo de uso del agua.
	Resultados del WQI	---	No refleja la calidad de agua reportada por la ANA.

(continúa)

Tabla 25 (continuación)

	Selección de parámetros	Permite flexibilidad con respecto al tipo y la cantidad de parámetros de calidad del agua utilizados; elegido en función del propósito de utilización del agua y la disponibilidad de datos.	Solo refleja el efecto de los parámetros de calidad del agua que indica el índice.
NSF - WQI 11P	Proceso de determinación del WQI	El método de agregación es sencillo y fácil de usar.	Tiene las mismas desventajas que el NSF-WQI 9P. Se requiere elaborar más curvas de calificación de calidad de cada parámetro adicionado (rating curves) y diferenciarlas de acuerdo al uso del agua.
	Resultados del WQI	Son más semejantes a los reportados por la ANA.	La metodología necesita ser ajustada para la realidad de la zona.

CAPÍTULO V: DISCUSIONES

La idea principal de WQI es transformar una serie de variables seleccionadas, que son cuantitativas, en una sola variable que es cualitativa y ordinal. Sin embargo, las variables consideradas tienen diferentes unidades y rangos de valores. Así, en el proceso de agregación, todas las variables deben convertirse en subíndices expresados en una sola escala. En el principio del cálculo del WQI, se requieren opiniones de expertos para la selección de las variables y en la elección de sus pesos en la agregación. Se asigna un coeficiente de ponderación a cada variable en función de sus impactos potenciales en la calidad del agua, Kachroud et al., (2019). Si bien, el procedimiento descrito es general para la mayoría de índices de calidad de agua (WQI), las diferencias que puede haber en cualquiera de las etapas de dicho proceso, hacen necesaria la evaluación de su aplicabilidad en el área de estudio.

5.1. Identificación de los principales parámetros que comprometen la calidad de agua en el Río Locumba

Aunque usar el mismo conjunto de parámetros permite tener una mejor comparación del estado de la calidad del agua entre sitios, esto crea un problema común en la aplicación de índices llamado "rigidez". La rigidez se manifiesta cuando surge la necesidad de incluir variables importantes adicionales en un índice para abordar problemas específicos de calidad del agua, pero el usuario no puede agregar los nuevos parámetros necesarios para la futura aplicación del índice, Sutadian et al., (2016b). Es por ello que, en la presente investigación, se consideraron los 9 parámetros base del NSF-WQI convencional (Temperatura, CE, SST, pH, OD, DBO₅, Coliformes Termotolerantes, Fosfatos Totales, y Nitratos(NO₃-)), y se adicionaron los parámetros de arsénico (As) y boro (Bo) en los índices ICA-PE y NSF-WQI 11 parámetros. La consideración de estos metales pesados, se sustentó en el reporte de la Autoridad Nacional del Agua, Figueroa Zavala et al., (2020), que indica que las concentraciones de dichos metales son los que exceden en mayor cantidad y número de veces los Estándares de Calidad Ambiental del agua, comprometiendo la calidad del agua tanto para consumo humano como para irrigación.

5.2. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE

De acuerdo a los valores del ICA-PE, en general, el agua de los ríos principales de la Cuenca Locumba es de mala calidad para consumo humano, como se indica en la Tabla 22, siendo la población más afectada la asentada en la capital de la provincia de Jorge Basadre, la población de Locumba, debido a que en ese punto de muestreo (RLocu3), el agua para consumo humano es de pésima calidad.

Por otro lado, de acuerdo a la Tabla 22, el agua para uso en irrigación es entre regular y mala en los puntos de muestreo de la Cuenca Locumba; siendo los distritos más afectados, los de Ite y Locumba, los cuales representan las mayores producciones de cebolla y ají fresco de la región.

Los resultados obtenidos en la Tabla 26 mediante el cálculo del ICA-PE se asemejan a los reportados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el 2020, Figueroa Zavala et al., (2020), la cual utilizó el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) para la clasificación de los cuerpos de agua. En dicho reporte no se ha considerado la calidad de agua para uso poblacional, debido a que la mayoría de los asentamientos humanos en el área de estudio afirma no utilizar agua del río para consumo poblacional; sin embargo, en la presente investigación se ha considerado el uso poblacional por motivos de prevención y seguridad.

Tabla 26
Comparación resultados ICA-PE con reporte ANA (2020)

Punto	Categorización ICA-PE		Categorización ANA	
	Consumo Humano	Irrigación	Consumo Humano	Irrigación
Rcall3	Malo	Regular	--	Regular
Rllab2	Regular	Regular	--	Pésimo
RLocu3	Pésimo	Malo	--	Pésimo
RLocu5	Malo	Malo	--	Malo

5.3. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI 9 parámetros

De acuerdo a los valores del NSF convencional (9 parámetros), en general, el agua de los ríos principales de la Cuenca Locumba es de calidad buena, según la Tabla 23. En este índice NSF-WQI convencional, se presenta el problema de rigidez mencionado en el ítem 5.1., pues al no incluir metales pesados, no refleja la real

calidad de los ríos de la cuenca, que debido a condiciones geológicas se encuentran contaminados de forma natural, Figueroa Zavala et al., (2020). En este índice no se ha hecho deferencia entre los usos del agua, debido a que las curvas de calificación (rating curves) no indican el uso de agua para el que fueron construidas.

5.3.1. Calidad del agua en el Río Locumba de acuerdo al índice NSF-WQI 11 parámetros

Para evitar el problema de rigidez que limita la aplicación del índice NSF-WQI convencional, es que se optó por agregarle 2 parámetros correspondientes a metales pesados (As y Bo) y así sea, también, más representativa su comparación con el ICA-PE. De acuerdo a Uddin et al. (2021), existen investigaciones previas que consideran el uso del NSF-WQI considerando 11 parámetros, los cuales abarcan parámetros tóxicos como los pesticidas y metales pesados.

En el presente estudio, de acuerdo al NSF-WQI 11 parámetros, el agua en el Río Locumba, tanto para consumo humano como para irrigación, es de calidad moderada o regular. Estos resultados no estarían reflejando la real condición de la calidad de agua para consumo humano, debido a que los parámetros son tomados directamente como subíndices utilizando curvas de calificación desarrolladas por opiniones de expertos Sutadian et al., (2016b), y en este caso, dichas curvas no han sido elaboradas de acuerdo a la realidad de la zona de estudio.

5.4. Evaluación del desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba

Como se indica en el capítulo de resultados, la calificación de calidad de agua a lo largo del Río Locumba varía significativamente de acuerdo al índice que se utilice para su evaluación, como se observa en la Tabla 27.

Tabla 27

Comparación de clasificación de calidad de agua del Río Locumba según índice ICA-PE y NSF-WQI

Punto de muestreo	Consumo Humano			Irrigación		
	ICA-PE	NSF-WQI 9P	NSF-WQI 11P	ICA-PE	NSF-WQI 9P	NSF-WQI 11P
Rcall3	Malo	Moderado	Moderado	Regular	---	Moderado
Rllab2	Regular	Bueno	Moderado	Regular	---	Moderado
RLocu3	Pésimo	Bueno	Moderado	Malo	---	Moderado
RLocu5	Malo	Bueno	Moderado	Malo	---	Moderado

Según Akkoyunlu & Akiner (2012), la diferencia en los valores WQI se debe a la disparidad en la selección de los parámetros de calidad del agua y las escalas de calidad establecidas. En el presente estudio, como los parámetros utilizados han sido los mismos, la diferencia se basa principalmente en las escalas de calidad para el cálculo de los índices NSF-WQI; específicamente, en el uso de las curvas de calificación (rating curves), debido a que éstas no se ajustan a la realidad de la zona de estudio.

Adicionalmente, a pesar del uso de los mismos parámetros, la clasificación de cada índice difiere, especialmente en la evaluación del agua potable. La diferencia en la clasificación se interpreta, también, por el hecho de que los índices NSF-WQI y los límites de clases fueron diseñados para los EE. UU. y pueden no ser aplicables a Perú debido a diferentes contaminantes naturales y antropogénicos.

También, se ha demostrado que el ICA-PE, el cual se basa en el CCME- WQI, es un índice particularmente adecuado para su uso con redes de monitoreo continuo de la calidad del agua, Abbasi & Abbasi, (2012b).

CONCLUSIONES

Aunque existen algunas limitaciones en el uso del WQI, tal como su incapacidad de definir la calidad del agua para todos los usos y todos los peligros, el WQI puede ser una herramienta útil para expresar el estado general de la calidad del agua espacial y temporalmente; por lo tanto, puede ser utilizado como base para la mejora de los programas de calidad del agua, Sutadian et al., (2016b).

Seleccionar un WQI para la determinación de la calidad del agua en los ríos es ventajoso, ya que los índices se utilizan ampliamente en las ciencias ambientales y el análisis de la calidad del agua, Akkoyunlu & Akiner, (2012).

La selección de parámetros, en particular para los índices con sistemas fijos y mixtos, tiene como objetivo seleccionar los parámetros que tienen la mayor influencia en la calidad del agua del río Sutadian et al., (2016b).

En la presente investigación se compararon los índices ICA-PE y NSF-WQI, este último con una modificación de sus parámetros base, agregándose 2. Los parámetros utilizados en el cálculo del ICA-PE y NSF-WQI 11 parámetros fueron: Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos en Suspensión Totales (SST), pH, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Termotolerantes, Fosfatos Totales, Nitratos (NO₃-), arsénico (As) y boro (Bo).

De acuerdo a los valores del ICA-PE, en general, el agua de los ríos principales de la Cuenca Locumba es de mala calidad para consumo humano. Mientras que el agua para irrigación es entre regular y mala.

De acuerdo a los valores del NSF-WQI convencional, el agua de los ríos principales de la Cuenca Locumba es de calidad buena, esto debido a que no se han considerado la contaminación por metales pesados. Con respecto al índice modificado NSF-WQI 11 parámetros, la calidad de agua, tanto para consumo humano como para irrigación es moderada o regular.

De la evaluación del desempeño de los índices ICA-PE y NSF-WQI en el Río Locumba, se llega a la conclusión que el índice ICA-PE representa de mejor manera la calidad de agua en los puntos de muestreo considerados en este estudio. Sin embargo, el índice NSF convencional, así como el modificado, no se adaptan a las condiciones específicas de la zona de estudio; debiendo este ser adecuado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a los órganos gubernamentales, como la Autoridad Nacional del Agua, aumentar la frecuencia de monitoreo y evaluación de la calidad del agua, ya que su determinación ayudará a desarrollar estrategias de gestión para controlar la contaminación de las aguas superficiales frente a la creciente urbanización, la contaminación natural y la presión antropogénica sobre los recursos hídricos.

Se recomienda a futuros investigadores, realizar análisis estadísticos más detallados para la selección de parámetros a utilizar en los índices de selección abierta de parámetros como el índice ICA-PE.

Se recomienda a futuros investigadores, utilizar el índice ICA-PE en otros ríos de similares características en la región, y así evaluar la calidad de agua en ellos, de manera que los resultados sirvan como una herramienta en la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico y la elaboración de planes de mitigación.

Se recomienda a futuros investigadores, adaptar el índice NSF-WQI, específicamente en lo relacionado al ajuste de las curvas de calificación para los contaminantes específicos de ríos contaminados naturalmente por la geología. Siendo este índice de más sencilla aplicación, la adaptación de éste sería de utilidad práctica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012a). *Water Quality Indices*.
- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012b). Water-Quality Indices. In *Water Quality Indices* (pp. 353–356). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6>
- Akkoyunlu, A., & Akiner, M. E. (2012). Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. *Ecological Indicators*, 18, 501–511. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2011.12.018>
- Alstead, S. (2013). *Poulsson's Text-book of Pharmacology and Therapeutics*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2013-0-08166-2>
- Alviz Gonzales, C. D., & Alvarez Gonzales, L. F. (2021). *Análisis comparativo en los niveles de concentración de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb) en sedimentos, entre la zona alta y zona baja del río Locumba, región Tacna, 2021* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Moquegua.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). *Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Unidad Hidrográfica Locumba*.
- Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*.
- Biochemical Oxygen Demand - BOD testing and measurement in water*. (n.d.). Retrieved January 20, 2023, from <https://www.ysi.com/parameters/biochemical-oxygen-demand-bod>
- Carrillo Alvarado, M., & Urgilés Calle, P. (2016). *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar y Pindilig*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- Castillo, Z., & Medina, V. (2014). *Evaluación Espacio-Temporal de la Calidad del Agua del Río Rimac (Riego), de Enero a Agosto del 2011, en tres Puntos de Monitoreo*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2434/T01-C38-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chulluncuy Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., Déley, Á. R., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del aguade los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Rev. Del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG- UNMSM*.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>
- Conductivity in Water, Salinity and Specific Conductance Measurement*. (n.d.). Retrieved January 19, 2023, from <https://www.yssi.com/parameters/conductivity>
- Cordova Castañeda, M. A. (2017). *Calidad del Agua en la Microcuenca del Río Challhuahuacho Comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para Riego y Bebedero (ECA 3) en la Zona de Challhuahuacho, Cotabamba – Apurímac - 2016*.
- Dirección Regional de Vivienda, C. y S. de la R. de T. (2021). *Plan Regional de Saneamiento Tacna 2021-2025*.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHscHt6o37AhV9ALKGHU-VATgQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Fvivienda.regiontacna.gob.pe%2Fweb%2Fdocs_down.php%3Ff%3Ddoc_5435.pdf&usg=AOvVaw3hMiUWInIhnLY0GG9PRJpr
- Figueroa Zavala, J. L., Calizaya Anco, J. A., Aragón León, E. Y., & Velarde Frías, Á. J. (2020). *Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Unidad Hidrográfica Locumba*.
- Granizo Taboada, R. M., & Toa López, V. N. (2019). *Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) de las Fuentes de Agua Resultantes de un Plan de Manejo de Paramos, Parroquia Sucre, Cantón Patate*.
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/827/1/T.AMB.B.UEA.%20%203266.pdf>
- Hassan Omer, N. (2020). Water Quality Parameters. In *Water Quality - Science, Assessments and Policy*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.89657>

- Hurley, T., Sadiq, R., & Mazumder, A. (2012). Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. *Water Research*, 46(11), 3544–3552. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.061>
- Jimenez Cotrina, J. A., & Llico Portal, M. E. (2020). *Evaluación de la Calidad del Agua en el Río Muyoc, aplicando el Índice de Calidad Ambiental para agua, Cajamarca* 2019. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23984/Jimenez%20Cotrina%2c%20Jhon%20Abner%20-%20Llico%20Portal%2c%20Merly%20Evellin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kachroud, M., Trolard, F., Kefi, M., Jebari, S., & Bourrié, G. (2019). Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature. *Water*, 11(2), 361. <https://doi.org/10.3390/w11020361>
- Krenkel, P. A., & Novotny, V. (1980). *Water Quality Management*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-426150-1.X5001-0>
- Laino-Guanes, R. M., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Jiménez-Otárola, F., & Musálem-Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(4), 61–74. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Laura Ortiz, J. R. (2019). *Gestión de la Calidad del Agua del Río Chili mediante el empleo de Índices Físico Químicos de Calidad Ambiental, Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9653/UPlaorjr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lobato, T. C., Hauser-Davis, R. A., & Oliveira, T. F. (2015). Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*.
- Lumb, A., Sharma, T. C., & Bibeault, J.-F. (2011). A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. *Water Quality, Exposure and Health*, 3(1), 11–24. <https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0>

- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon*, 8(7), e09848. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>
- Md. Galal Uddin et al. (2021). *Ecological Indicators*.
- Méndez-Zambrano, P., Arcos-Logroño, J., & Cazorla-Vinueza, X. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. *Revista Científica Domino de Las Ciencias*. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1424>
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*.
- Nitrate in Water | Nutrient Monitoring | YSI Nitrate*. (n.d.). Retrieved January 20, 2023, from <https://www.ysi.com/parameters/nitrate>
- Oocities. (2009). *Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. Parámetros y Características de las Aguas Naturales*. .
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Nuestro Futuro Común*.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Palomino Avellaneda, P. D. (2016). *Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016*. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1242/pdf_105
- Paun, I., Valeria Cruceru, L., & Laura Chiriac, F. (2016). Water Quality Indices - Methods For Evaluating the Quality of Drinking Water. *SIMI 2016 "THE ENVIRONMENT AND THE INDUSTRY"*. <http://www.simiecoind.ro/wp-content/uploads/2016/10/55-WATER-QUALITY-INDICES-METHODS-FOR-EVALUATING-THE-QUALITY-OF-DRINKING-WATER.pdf>
- Pavel Aquino Espinoza. (2017). *Calidad del Agua en el Perú*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2806>
- Saravia Solares, P. (2016). 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. *Agua, Saneamiento & Ambiente*.

- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2016a). *Development of river water quality indices*.
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2016b). Development of river water quality indices—a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, *188*(1), 58. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2017). Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index. *Ecological Indicators*, *75*, 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.043>
- Temperature in Water Quality Properties and Analysis*. (n.d.). Retrieved January 19, 2023, from <https://www.ysi.com/parameters/temperature>
- Total Phosphate - Environmental Water Quality Information*. (n.d.). Retrieved January 20, 2023, from https://wq.epa.gov.tw/EWQP/en/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_32.aspx
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, *122*, 107218. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.107218>
- Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., & Tsakovski, S. (2021). Water quality assessment of a river catchment by the composite water quality index and self-organizing maps. *Ecological Indicators*, *120*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872>
- Zandbergen, P. A., & Hall, K. J. (1998). Analysis of the British Columbia Water Quality Index for Watershed Managers: a Case Study of Two Small Watersheds. *Water Quality Research Journal*, *33*(4), 519–550. <https://doi.org/10.2166/wqrj.1998.030>

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

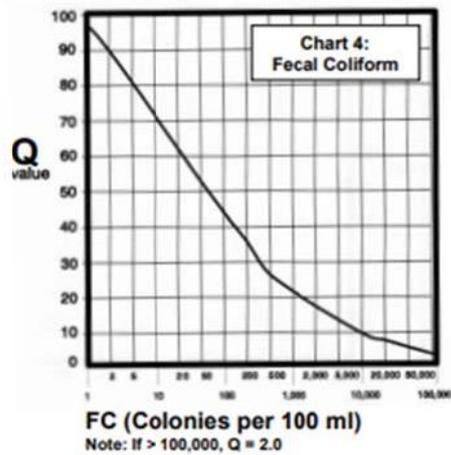
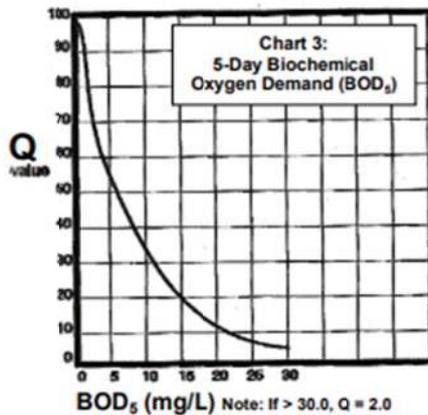
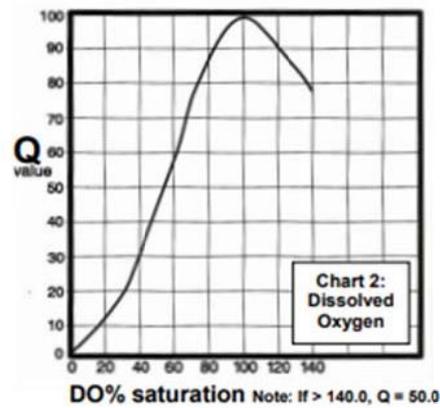
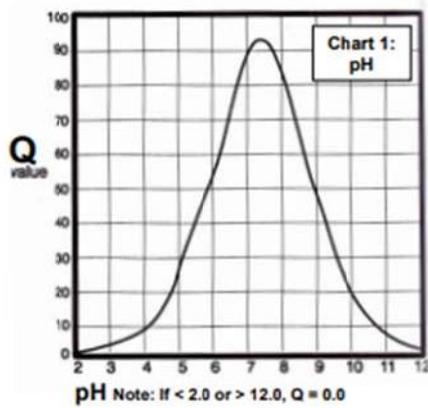
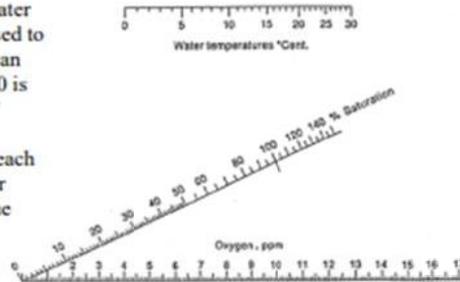
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS (OPCIONAL)	VARIABLE	INDICADOR	MÉTODO	ESTADÍSTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis Principal	Independiente			
¿Cuál es el desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba?	Evaluar el desempeño del índice ICA-PE en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba.	El desempeño del índice ICA-PE es mejor en comparación con el índice WQI-NSF en el Río Locumba.	Índice de calidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excelente ▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo ▪ Pésimo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ICA-PE ▪ WQI-NSF 	<ul style="list-style-type: none"> -Representación de la zona estudiada. - Tiempo de procesamiento. - Simplicidad de cálculo.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específica				
¿Cuál es la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE?	Categorizar la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice ICA-PE.	La calidad de agua en el Río Locumba según el ICA-PE es "Regular"				
¿Cuál es la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice WQI-NSF?	Categorizar la calidad de agua en el Río Locumba de acuerdo al índice WQI-NSF.	La calidad de agua en el Río Locumba según el WQI-NSF es "Regular"				
¿Cuáles son los principales parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos que comprometen la calidad del agua en el Río Locumba?	Identificar los principales parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos que comprometen la calidad del agua en el Río Locumba.	Los principales parámetros que comprometen la calidad del agua en el Río Locumba son la temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, arsénico y hierro				

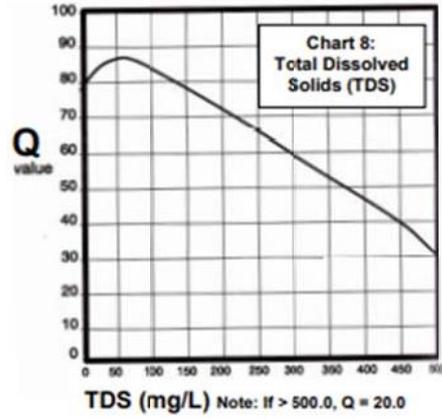
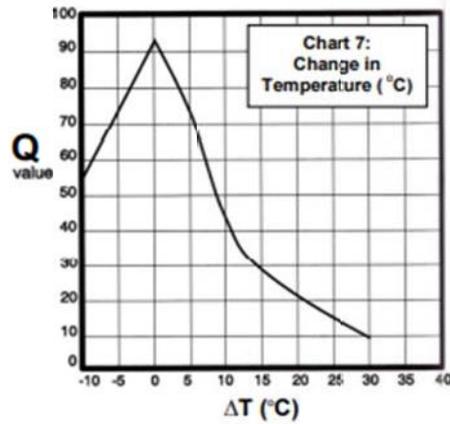
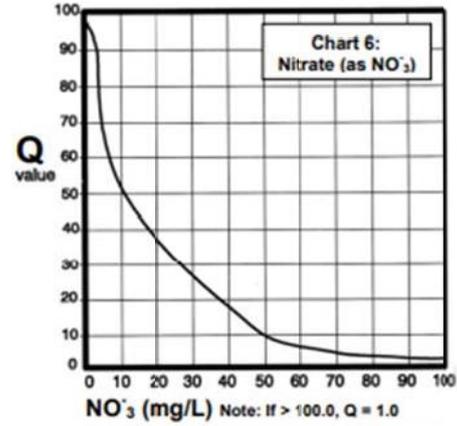
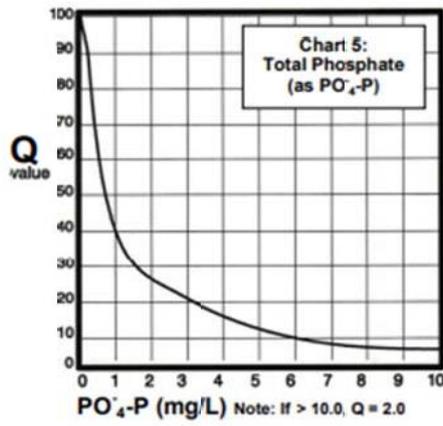
ANEXO 2. NSF WQI Diagramas Qi

Q-value Analysis

A Q-value is a way of standardizing all the different water quality test results so that they can be combined and used to find an overall water quality value for the river. You can think of the Q-value like a score on a test. Less than 50 is like a failing grade, whereas 90 or more is like an "A."

Use the following charts to determine the Q-value for each of the water quality tests you perform. Find your water quality value on the x-axis. Determine where that value intersects the curved line on the graph, then follow it horizontally across to the y-axis and read the Q-value.





Turbidity Conversion Chart

Cm	NTU	Cm	NTU	Cm	NTU
< 7	> 240	21 to 24	35	44 to 46	13
7 to 8	185	24 to 26	30	46 to 49	12
8 to 9	150	26 to 29	27	49 to 51	11
9 to 10	120	29 to 31	24	51 to 54	10
10 to 12	100	31 to 34	21	54 to 57	9
12 to 14	84	34 to 36	19	57 to 60	8
14 to 16	60	36 to 39	17	60 to 70	7
16 to 19	48	39 to 41	15	70 to 85	6
19 to 21	40	41 to 44	14	> 85	< 5

