

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO

TESIS

“Calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales mediante el índice de calidad ambiental (Ica), Huancavelica - 2023”

Línea de investigación: Gestión ambiental y/o sanitaria

PRESENTADO POR:

EDSON, REZA POMA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE INGENIERÍA
MENCION EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

HUANCAVELICA – PERU

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
UNIDAD DE POSGRADO



(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los trece días del mes de noviembre, a las 17:00 horas, del año dos mil veinticuatro se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados con Resolución Directoral N° 878 - 2024-EPG-R/UNH, de fecha 10 de junio de 2024, conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : Mg. Freddy Alfredo, MATAMOROS HUAYLLANI
<https://orcid.org/0000-0002-6689-5033>
DNI N°: 42188460

SECRETARIO : Mg. Luis Alberto, TITO CORDOVA
<https://orcid.org/0000-0003-0072-4140>
DNI N°: 40943298

VOCAL : Mg. Edwin Javier, CCENTE CHANCHA
<https://orcid.org/0009-0004-2168-6010>
DNI N°: 45145272

Con la finalidad de llevar a cabo el acto académico de sustentación de tesis titulada "Calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales mediante el índice de calidad ambiental (Ica), Huancavelica - 2023" Aprobado mediante Resolución Directoral N° 1788 – 2024 – EPG-R/UNH, donde fija la hora y fecha para el mencionado acto.

Sustentante:
Bach. Edson, REZA POMA
DNI N°: 40919999

Asesor:
M.Sc. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA
<https://orcid.org/0000-0001-9253-5974>
DNI N°: 41063829

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formuladas por los Miembros del Jurado se procede con la deliberación con el resultado de:

APROBADO DESAPROBADO POR: MAYORÍA

Para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los trece días de noviembre del año 2024.



Firmado digitalmente por
MATAMOROS HUAYLLANI Freddy
Alfredo FAU 20188014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.11.2024 15:25:11 -05:00

Mg. Freddy Alfredo, MATAMOROS HUAYLLANI
Presidente del Jurado.



Firmado digitalmente por TITO
CORDOVA Luis Alberto FAU
20188014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.11.2024 10:48:23 -05:00

Mg. Luis Alberto, TITO CORDOVA
Secretario del Jurado



Firmado digitalmente por CCENTE
CHANCHA Edwin Javier FAU
20188014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.11.2024 22:20:23 -05:00

Mg. Edwin Javier, CCENTE CHANCHA
Vocal del Jurado



UNH

Vicerrectorado de Investigación

Dirección de Innovación y Transferencia tecnológica

Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Por medio del presente y de acuerdo al siguiente detalle:

- Trabajo de investigación, titulado:
"CALIDAD DE AGUA DEL RÍO ICHU CON VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL (ICA), HUANCVELICA - 2023"
- Presentado por:
REZA POMA, EDSON
- Docente asesor (a):
ESCOBAR SOLDEVILLA, MABEL YESICA
- Para obtener:
EI GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO: MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA; MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

La Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio, **certifica que es un trabajo de investigación original**, se encuentra dentro del porcentaje permitido de coincidencia por la Universidad Nacional de Huancavelica.

Por tanto, en cumplimiento del Art.4° del Reglamento del Software Anti plagio de la Universidad Nacional de Huancavelica, se dictamina que el trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio **TURNITIN** (realizado por el docente Asesor), se expide el presente.

ORIGINALIDAD	SIMILITUD
82%	18%

El Certificado se expide el 25 de julio de 2024.



Firmado digitalmente por ESPINOZA
QUISPE Carlos Enrique FAU
20168014602 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.07.2024 12:51:34 -05:00



Verificar la autenticidad del presente documento en el siguiente QR.

Dedicatoria

A mis padres Julián y Lucila quienes son la razón primordial de seguir escalando personal y profesionalmente.

Asesor

M.Sc. ESCOBAR SOLDEVILLA, MABÉL YÉSICA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9253-5974>

DNI: 41063829

Resumen

La calidad de agua viene siendo afectada por diversas fuentes de contaminación conllevando que se vea afectada la comunidad acuática, en base a ello la investigación denominada “Calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales mediante el Índice de Calidad Ambiental (ICA), Huancavelica - 2023” donde tuvo como objeto de estudio Evaluar la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023, planteando la metodología de tipo aplicada, nivel explicativo, diseño no experimental, con método general científico, la población del recorrido del río Ichu, la muestra fue de 16 puntos de muestreo en 4 sectores determinado mediante el muestreo no probabilístico por conveniencia, obteniendo que la calidad de agua medido mediante el Índice de Calidad Ambiental ICA test NSF determina una calidad en el punto EsSalud de 31.67 indicando una calidad mala y en el puente del ejército se tuvo un valor de 19.62 señalando una calidad de agua muy mala, concluyendo que la calidad del agua del río Ichu identificado mediante el ICA si influye significativamente en la conservación del ambiente acuático.

Palabras clave: ICA, ECA, conservación del ambiente acuático, Calidad de agua, Río Ichu, NSF.

Abstract

The quality of water is being affected by various sources of pollution generating that the aquatic community is affected, based on this research called "Water quality of the river Ichu with wastewater discharge through the Environmental Quality Index (ICA), Huancavelica - 2023" where the object of study was to evaluate the water quality of the river Ichu with wastewater discharge determined by the environmental quality index (EQI) influences the conservation of the aquatic environment, Huancavelica - 2023, proposing the methodology of applied type, explanatory level, non-experimental design, with general scientific method, the population of the Ichu river route, the sample was 24 sampling points in 4 sectors determined by non-probabilistic sampling for convenience, obtaining that the water quality measured by the Environmental Quality Index ICA test NSF a quality at the point EsSalud of 31.67 indicating a poor quality and at the army bridge a value of 19.62 indicating a very poor water quality, concluding that the water quality of the Ichu river identified by the ICA does have a significant influence on the conservation of the aquatic environment.

Keywords: *ICA, ECA, aquatic environment conservation, water quality, Ichu River, NSF.*

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Certificado de similitud	iii
Dedicatoria	iv
Asesor	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Índice	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Introducción	xiii
CAPÍTULO I	15
EL PROBLEMA	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema General.....	16
1.2.2. Problemas Específicos	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Justificación.....	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1. Antecedente internacional.....	18
2.1.2. Antecedente nacional	21
2.1.3. Antecedente regional.....	28
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. Índice de calidad de agua	29

2.2.2.	Contaminación del agua.....	50
2.3.	Formulación de las hipótesis	54
2.3.1.	Hipótesis general.....	54
2.3.2.	Hipótesis específicas	55
2.4.	Definición de términos	55
2.5.	Identificación de variables.....	58
2.6.	Operacionalización de variables.....	59
CAPÍTULO III.....	60	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	60	
3.1.	Tipo de la investigación	60
3.2.	Nivel de investigación	60
3.3.	Métodos de investigación.....	61
3.3.1.	Método general.....	61
3.3.2.	Método específico	61
3.4.	Diseño de investigación.....	62
3.5.	Población, muestra y muestreo.....	62
3.5.1.	Población.....	62
3.5.2.	Muestra.....	63
3.5.3.	Muestreo.....	63
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	64
3.6.1.	Técnicas.....	64
3.6.2.	Instrumentos.....	64
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	65
3.8.	Descripción de la prueba de hipótesis	66
CAPÍTULO IV	67	
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	67	
4.1.	Presentación e interpretación de datos	67
4.1.1.	Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico.....	67
4.1.2.	Resultados del ICA	78
4.2.	Proceso de prueba de hipótesis.....	81
4.2.1.	Prueba de hipótesis general.....	81
4.2.2.	Prueba de hipótesis específica 1	83
4.2.3.	Prueba de hipótesis específica 2	85

4.3. Discusión de resultados	87
Conclusiones	89
Recomendaciones	90
Referencias bibliográficas	91
Anexos	96

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y limitaciones del Índice de Calidad del Agua (ICA)	38
Tabla 2. Clasificación de los ICA	39
Tabla 3. Criterios para la clasificación de las aguas	46
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos empleados por diferentes ICA ..	48
Tabla 5. Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los ICA	49
Tabla 6. Operacionalización de variables	59
Tabla 7. Resultados del parámetro turbiedad	67
Tabla 8. Resultados del parámetro pH	68
Tabla 9. Resultados del parámetro temperatura	70
Tabla 10. Resultados del parámetro demanda bioquímica de oxígeno	71
Tabla 11. Resultados del parámetro oxígeno disuelto.....	72
Tabla 12. Resultados del parámetro sólidos totales	73
Tabla 13. Resultados del parámetro nitratos	74
Tabla 14. Resultados del parámetro fosfatos totales	75
Tabla 15. Resultados del parámetro coliformes totales.....	77
Tabla 16. Prueba de normalidad para la hipótesis general	82
Tabla 17. Resultados de la prueba de hipótesis general	83
Tabla 18. Prueba de normalidad para la hipótesis específica 1	84
Tabla 19. Resultados de la prueba de hipótesis específica 1	84
Tabla 20. Prueba de normalidad para la hipótesis específica 2.....	86
Tabla 21. Resultados de la prueba de hipótesis específica 2.....	86

Índice de figuras

Figura 1. Rangos de clasificación de los ICA.....	40
Figura 2. Rango de evaluación del ICA Pe.....	45
Figura 3. Resultados del análisis de la turbiedad.....	68
Figura 4. Resultados del análisis del pH.....	69
Figura 5. Resultados del análisis de la temperatura.....	70
Figura 6. Resultados del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.....	71
Figura 7. Resultados del análisis del oxígeno disuelto.....	72
Figura 8. Resultados del análisis de los sólidos totales.....	73
Figura 9. Resultados del análisis de los nitratos.....	75
Figura 10. Resultados del análisis de los fosfatos totales.....	76
Figura 11. Resultados del análisis de los coliformes totales.....	77
Figura 12. Resultados del ICA para el sector puente EsSalud.....	78
Figura 13. Resultados del ICA para el sector puente La Victoria.....	79
Figura 14. Resultados del ICA para el sector puente San Cristóbal.....	80
Figura 15. Resultados del ICA para el sector puente Ejercito.....	81

Introducción

La presente investigación denominada “Calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales mediante el Índice de Calidad Ambiental (ICA), Huancavelica - 2023” para lo cual se planteó como problema principal ¿Cómo la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023? donde tuvo como objeto de estudio Evaluar la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023,y la posible respuesta indicada fue La evaluación de la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

La investigación surge a partir de la problemática del río Ichu ya que como cuerpo receptor a lo largo la ciudad de Huancavelica que recorre desde su origen hasta su desembocadura al río Mantaro, recibe las descargas de los vertimientos de toda naturaleza, tanto de residuos sólidos, aguas industriales, pasivos ambientales mineros existentes en la zona, aguas servidas domésticas, etc., sin el previo tratamiento como corresponde; razón por la cual, en el sector de la ciudad de Huancavelica, se determinó realizar la evaluación de la magnitud del efecto de la contaminación del río que se viene generando con los vertimientos de las aguas servidas domésticas sin el previo tratamiento, lo que ocasiona como consecuencia la alteración de la calidad del agua en este cuerpo receptor que sobre pasan los parámetros normativos ambientales establecidos, que alteran negativamente la calidad del agua para sus diferentes usos a aguas debajo de la zona de estudio.

Así mismo, se justifica ya que en la actualidad los recursos hídricos están afectados principalmente por contaminantes los cuales la entidad competente no le

da el tratamiento adecuado generando así alteraciones en los medios acuáticos en los cuales se vierten estos, por lo que mediante la presente investigación se podrá establecer si estos vertimientos afectan significativamente a la comunidad biótica del agua.

Considerando ello, se plantea la investigación con la estructura del capítulo I que comprende el planteamiento del problema, el capítulo II que consta del marco teórico, el capítulo III de la metodología de la investigación, el capítulo IV de la presentación de resultados, para pasar a las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un elemento vital de las diferentes actividades del hombre y los seres vivos, con las diferentes actividades de la humanidad en la actualidad se contaminan permanentemente en todas sus presentaciones, como lo son los ríos, quebradas, lagos, lagunas, mares y las aguas subterráneas.

Estas aguas principalmente de los ríos y quebradas están constantemente expuestos a la contaminación al recibir las descargas de los vertimientos de las aguas servidas domésticas sin previo tratamiento, conforme las normas ambientales lo establecen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de la Calidad Ambiental del agua (ECA), comprometiendo la salud poblacional y ambiental.

El río Ichu como cuerpo receptor a lo largo de la ciudad de Huancavelica que recorre desde su origen hasta su desembocadura al río Mantaro, recibe las descargas de los vertimientos de toda naturaleza, tanto de residuos sólidos, aguas industriales, pasivos ambientales mineros existentes en la zona, aguas servidas domésticas, etc., sin el previo tratamiento como corresponde; razón por la cual, en el sector de la ciudad de Huancavelica, se determinó realizar la evaluación de la magnitud del efecto de la contaminación del río que se viene generando con los vertimientos de las aguas servidas domésticas sin el previo tratamiento, lo

que ocasiona como consecuencia la alteración de la calidad del agua en este cuerpo receptor que sobre pasan los parámetros normativos ambientales establecidos, que alteran negativamente la calidad del agua para sus diferentes usos a aguas debajo de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos con la evaluación del estado de la calidad del agua determinados mediante el ICA, servirá para tomar las acciones de minimización de este efecto de impacto ambiental y recuperar su estado mínimo necesario para restablecer el nivel normativo de la conservación del ambiente acuático de este río.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cómo el nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023?

¿Cómo los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye para su conservación del ambiente acuático?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

Identificar el nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye en la conservación del ambiente acuático, ^[2] Huancavelica – 2023.

Identificar los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye para su conservación del ambiente acuático.

1.4. Justificación

La presente investigación se justifica ya que en la actualidad los recursos hídricos están afectados principalmente por contaminantes los cuales la entidad competente no le da el tratamiento adecuado generando así alteraciones en los medios acuáticos en los cuales se vierten estos, por lo que mediante la presente investigación se podrá establecer si estos vertimientos afectan significativamente a la comunidad biótica del agua.

Así mismo mediante la aplicación del índice de calidad ambiental se podrá identificar el nivel de la calidad de agua con la que se cuenta en la actualidad en el río Ichu, así como se podrá proponer estrategias para su conservación e incluso recuperación principalmente de la comunidad acuática.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedente internacional

Mora y Tamay (2022), en su investigación acerca de “Determinación del índice de calidad de agua mediante monitoreo de macro invertebrados, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el río Sinichay, Cuenca – Ecuador” donde tuvo como fin central de evaluar la calidad de agua del río Sinincay, para lo cual realizaron el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son adecuados para determinar el ICA-NSF, obteniendo que en la comparación con los estándares internacionales – EPA los principales parámetros que incumplían estos valores fueron la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y coliformes fecales, así mismo de acuerdo al índice ICA-NSF y el índice BMWP/Col los puntos que cuentan con mejor índice o clasificación III y IV fueron los puntos M3, M4, M6 y M7, las familias de macroinvertebrados acuáticos más dominantes fueron Chinomidae, Tubifidae, y Physidae, los cuales se encuentran generalmente en aguas contaminadas.

Aveiga y otros (2019), realizaron la investigación “Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí”, el objetivo fue determinar las variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal (Manabí) en 21 estaciones de muestreo, cubriendo una extensión de 51 km, con cuya metodología realizó un muestreo de 7, 5 y 9 puntos en la microcuenca, embalse y en la sub cuenca respectivamente, tomaron muestras al azar empleando el sistema factorial, a partir de ello estableció una correlación de parámetros así como en las posiciones geográficas, luego calculo en índice de calidad de agua en donde encontró la concentración de minerales de magnesio, sulfatos, calcio y carbonatos, también el incremento de la conductividad eléctrica, solidos totales, y potencial redox, finalmente concluyen que existe una correlación entre las diversas posiciones geográficas monitoreadas y los parámetros físicos del agua, que tienen como causa las actividades antropogénicas que se dan en los lugares evaluados.

Mora et. al (2018), investigaron “Índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano en Costa Rica (IRCACH)”, el objetivo fue facilitar la interpretación de los análisis del agua para consumo en los sistemas de abastecimiento en Costa Rica. Metodología, realizaron la clasificación de los parámetros determinantes que son los fisicoquímicos y microbiológicos, y a partir de ello definieron 5 niveles de riesgo que van desde el riesgo muy bajo hasta el riesgo muy alto, a partir de ello obtuvieron los siguientes resultados: obtuvieron un nivel de riesgo bajo ya que la concentración de los parámetros no superan el 10%, en cuanto a los parámetros microbiológicos se realizó el recuento de los coliformes fecales que obtuvieron 25 puntos y se ubica por debajo del 95%, finalmente concluyen que la aplicación del índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano establece o ayuda a indicar los niveles de riesgo que tiene el consumidor así como las condiciones organolépticas o estéticas.

Yáñez (2018), realizó la “Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del lago San Pablo, provincia de Imbabura” en Ecuador. El objetivo de la presente investigación fue calcular las concentraciones de los parámetros tóxicos que se encuentran en los afluentes del río Itambi y vertiente Preñadilla y en el efluente Desaguadero del Lago San Pablo. La metodología para el cálculo del grado de contaminación del agua se llevó a cabo a través de parámetros fisicoquímicos en los afluentes “vertiente Preñadilla”, río Itambi y en el efluente “Desaguadero” los contaminantes determinados fueron pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos totales, suspendidos y disueltos, nitratos, nitritos, fosfatos, DQO, coliformes totales y metales pesados (Cd, Co, Ni, y Pb). Los resultados que recolectaron fueron comparados con los límites permisibles de la normativa técnica ambiental y se ha calculado posterior a ello el índice de calidad de agua NSF, se recolectaron un total de muestras igual a seis por cada punto de muestreo, correspondiente a los meses de julio, agosto y septiembre del año 2017, en cuanto a sólidos disueltos, oxígeno disuelto y coliformes totales no se encuentran incluidos en la normativa. Los metales pesados que se han analizado se encuentran bajo el límite de detección del equipo empleado; el índice de calidad de agua calculado evidenció que las aguas del río Itambi, tienden a tener una mala calidad, por otra parte, la “vertiente Preñadilla” y “Desaguadero” presentan una calidad de agua media. La conclusión de la investigación fue que el río Itambi evidenció un índice de calidad de agua bajo, con un valor igual a 46,56, el cual se representa con el color anaranjado con rango (26-50) ello según indica los rangos de calidad impuestos por la NSF, la vertiente Preñadilla y Desaguadero tienden a tener valores mayores de índice de calidad, 59,16 y 55,67 respectivamente, los cuales están representados por el color amarillo con rango (51-70) según lo referido en el índice de calidad NSF.

Caho y López (2017), en su investigación titulado “Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI” fue desarrollada en Colombia. Plantearon por objetivo el análisis espaciotemporalmente el índice de calidad de agua del sector Guaymaral, mediante la aplicación de dos metodologías de medición de cálculo: UWQI y CWQI. La metodología que aplicaron consistió en desarrollar una comparación espaciotemporal, entre agosto de 2015 y abril de 2016, eligiendo cuatro puntos de muestreo y monitorizando parámetros fisicoquímicos en cuatro épocas distintas. El resultado obtenido indica que la mayoría de puntos muestreados y calculados por el ICA-UWQI lograron una valoración de regular, y según el ICA-CWQI, de pobre. En conclusión, se calculó que de las dos metodologías empleadas la UWQI viene a ser la más recomendada para evaluar rápidamente algún uso específico del agua, ya que permitirá de forma rápida la toma de decisiones, y que la CWQI es adecuada para los estudios de evaluación espaciotemporal.

2.1.2. Antecedente nacional

Carhuasuica y Gonzales (2022), en su investigación sobre “Índice de calidad de agua, aplicando el ICARHS en el río Vilcanota en el tramo Paclamayo - Pucruto, distrito de Urubamba - Cusco – 2021” donde tuvo como fin central determinar el Índice de calidad de agua del río Vilcanota, aplicando el ICARHS en el tramo Paclamayo – Pucruto, distrito de Urubamba – Cusco 2021, monitorear el agua del río Vilcanota, de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y determinar los resultados de la evaluación de los parámetros orgánicos y físico-químico metal del agua del río Vilcanota en el tramo Paclamayo – Pucruto, tomándose en cuenta 03 puntos de monitoreo en dos épocas del año; época de avenidas y época de estiaje. Para ello se tomó en cuenta como indicadores de contaminación

parámetros de calidad orgánicos y físico-químico metal (DBO5, DQO, OD, Coliformes Termo tolerantes, pH, Arsénico, Aluminio, Manganeso, Hierro, Cadmio, Plomo, Boro, Cobre), siguiendo la metodología de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, los resultados del monitoreo se obtuvo in situ y mediante el laboratorio Louis Pasteur el cual está acreditado por INACAL. Finalmente, se obtuvo el valor del ICARHS para la época de estiaje con una valoración de regular (66.057) y en el caso de la época de avenidas una valoración de malo (60.631), tomándose en cuenta los 03 puntos de monitoreo en el río Vilcanota dentro del tramo Paclamayo – Pucruto del Distrito De Urubamba.

Jimenez y Llico (2020), en su tesis sobre “Evaluación de la calidad del agua en el río Muyoc, aplicando el índice de calidad ambiental para agua, Cajamarca 2019” donde tuvo como fin central evaluar la calidad de agua del río Muyoc según ICA – PE. El cual incorpora parámetros físicos, químicos y microbiológicos. En cada uno de los monitoreos, se calculó eficazmente teniendo como resultado del primer monitoreo lo siguiente puntos: P1 cabecera de cuenca, P2 parte media y P3 parte baja de la cuenca. Con la finalidad de evaluar si la calidad de agua es buena o mala para el riego de vegetales y bebida de animales. Los resultados de la evaluación nos indican que en el primer monitoreo cloruros $M1= 9217.78$; $M2= 7090.6$ y $M3= 7799.6$ y pH: $M1=4.5$; $M2=4.03$; $M3= 4.3$ son los parámetros que sobrepasan los valores establecidos por del ECA – Agua. Del segundo análisis se obtuvo como resultados que, ningún parámetro sobrepasa los valores del ECA – Agua; sin embargo, al evaluar el ICA – PE, determina que la calidad en el primer monitoreo en época de estiaje es BUENA y en el segundo monitoreo en época de lluvia es EXCELENTE.

Espinoza (2020), en si tesis sobre “Evaluación mediante el índice de calidad de agua (ica) del río santa con vertimientos de aguas servidas domésticas, para la conservación del ambiente acuático. sector Huaraz-

Jangas, Ancash 2019” donde se centró en evaluar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticas, con respecto al Estándar de Calidad Ambiental del agua (ECA) para la conservación del ambiente acuático en el sector de Huaraz - Jangas. En el desarrollo del trabajo se realizó el muestreo de 10 puntos a lo largo del río en 06 fechas del año hidrológico 2012-2013, se procedió a determinar el ICA en base de las características físicoquímicos y bacteriológicos: Coliformes Fecales (CF), Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO5), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Sólidos Totales (ST), Nitratos (NITR), Temperatura (T) y Caudal (Q). Se consideró como Variables Independientes, las características del agua del río con vertimientos domésticos con su caudal y la Variable Dependiente la calidad del agua del río. El ICA (%) obtenido del período de estiaje, desde el primer punto de muestreo, las zonas de vertimientos hasta el final fueron: 51.5, 42.7 y 49.8% respectivamente, con el ICA en la zona de los vertimientos de calidad Mala por debajo del valor del ECA normativo de 51% y en el período de avenidas de: 63.8, 63.55 y 58.91% respectivamente, que corresponde a la clasificación de calidad Regular.

Cajas (2020), en su investigación sobre “Determinación del índice de calidad del agua del manantial del Centro Poblado de Cochatama - Huánuco – 2019” donde tuvo como fin central de determinar el índice de calidad del agua del manantial del Centro Poblado de Cochatama en el periodo del 2019, la investigación permitió ampliar los conocimientos teóricos y prácticos sobre los estándares de calidad ambiental (ECA) para el agua de acuerdo a los parámetros microbiológicos, físicos y químicos para tomar decisiones sobre desinfectar convencionalmente, mediante desinfección con elementos químicos o de forma avanzado el agua haciendo que sea apta para el consumo humano, se identifican 4 puntos de análisis de agua que son muestreadas y analizadas en un laboratorio; se identifica los estudios realizados a nivel internacional, nacional y local con la finalidad de dar un sustento objetivo a la investigación; por lo expuesto

la investigación presenta un tipo observacional, prospectivo, transversal, descriptivo de enfoque cuantitativo, se obtiene como muestra cuatro puntos donde se realiza un análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. Los resultados de la investigación permitieron determinar los parámetros químicos, físicos y microbiológicos del agua en los 4 puntos de análisis, donde se concluye que el punto 01 está dentro de los límites máximos permisibles según el Decreto Supremo N° 004-2017 - MINAM en la subcategoría A1 que corresponde a Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Alarcón (2019), en su investigación sobre “Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac” tuvo como fin central evaluar la confiabilidad de los métodos existentes de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac. Esto es debido a la variedad de métodos que se han elaborado a través del tiempo, puesto que el cálculo de un índice considera un número determinado de parámetros de calidad de agua, sus respectivas ponderaciones y una fórmula matemática para el cálculo final. Por este motivo, se recopiló los principales ICA en base a diversos criterios, para posteriormente comparar sus resultados en 4 estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Rímac y, así, proponer el método más adecuado para su aplicación. Se eligieron 7 métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA): PE, Universal, León, Oregon, NSF, Idaho y Dinius. Los cuales fueron calculados mediante el software ICATest v1.0® y hojas de cálculo. Luego, se clasificaron los métodos seleccionados en base a 3 criterios: análisis estadístico, accesibilidad a los parámetros requeridos y evaluación de parámetros utilizados en el ICA. Los resultados demuestran en las estaciones de muestreo en el río Rímac, los valores varían de acuerdo al método utilizado, teniendo diferentes resultados. En términos generales y prácticos, el ICA – NSF, ICA – PE, ICA – Universal fueron calificados en general como un intervalo de “bueno” a “medio”. Para el ICA – León, como “aceptable” a “levemente contaminada”. Para el ICA –Dinius como “Purificación menor para

cultivos que requieran de alta calidad de agua” a “no requiere tratamiento para la mayoría de los cultivos”. Y finalmente, en el caso del ICA – Idaho como “marginal” e ICA – Oregon como “muy pobre”. Entre los 7 métodos elegidos, se propuso la inclusión del ICA – NSF como el método más adecuado para el río Rímac.

Delgado (2019), investigo “Diagnóstico de la calidad del agua y diseño de propuesta de solución para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA) en el río Colca”, cuyo objetivo fue diagnosticar la calidad del agua, entre los años 2012 a 2017, y diseñar una propuesta de solución establecida en base al Índice de Calidad de Agua, en el río Colca dentro de la cuenca Camana, metodología es de tipo descriptiva se recopilaron información de monitoreos realizados por instituciones ligadas al recurso hídrico (Autoridad Nacional del Agua y otros). Los resultados fueron: el caudal evaluado presenta una gestión inadecuada de aguas residuales líquidas con alrededor de 125 contaminantes, los parámetros evaluados fueron los fisicoquímicos como pH, DBO, cloruros, metales, DQO, finalmente señala que el ICA indicó en algunos tramos del río Colca muestra una condición buena y regular así mismo existen 125 fuentes contaminantes en el trayecto del río Colca de los cuales el 71 % del total se encuentran activos, mientras que un 29% fueron eliminados.

Puerta (2019), realizó la investigación “Determinación de la influencia de la descarga del río Mayo en la calidad de agua del río Huallaga, a través de los ICA-PE”, con el objetivo de determinar la influencia de la descarga del río Mayo, en la calidad de agua del río Huallaga, metodología se aplicó los materiales indicados para el muestreo de agua, el cálculo del índice de calidad de agua fue realizado por Microsoft Excel en donde se concentró 5 parámetros que son conductividad, pH, OD, DBO y coliformes termotolerantes, los principales resultados fueron del pH que varía 6.6 y 7.88, la temperatura del agua que

tuvo valores de 24.5°C a 26.4°C, así mismo la conductividad eléctrica fue de 232 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 312 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de la misma manera el Oxígeno Disuelto obtuvo valores que varían de 6.28 mg/L y 7.04 mg/L, la Demanda Bioquímica de Oxígeno obtuvo valores menores a 2.60 mg/l finalmente los Coliformes termotolerantes fueron de 130 NMP/100ml y 16000 NMP/100ml; finalmente para el cálculo el ICA-Pese obtuvo una calidad regular con un valor de 71.84 finalmente concluye que la metodología aplicada indico que el rio evaluado obtuvo una calidad regular en relación a los parámetros evaluados, pero en cada tiempo la calidad de agua es amenazada.

Uriburu (2018), realizo la investigación “Determinación del índice de calidad de agua de consumo humano, del centro poblado de agua fresca, Distrito de Chontabamba-2018”, el objetivo fue determinar el índice de calidad del agua para consumo humano de la población de Agua Fresca, ubicado en el distrito de Chontabamba provincia de Oxapampa. Metodología para ello identifico el lugar de muestreo, siendo elegido la captación del sistema de tratamiento de agua, toda vez que dicha población consume agua sin desinfección, analizándose parámetros campo (Temperatura, pH y OD) fisicoquímico (Conductividad eléctrica, color verdadero, STD, turbidez, Cianuro, nitritos, nitrato, DBO5, fosfato, cloruros, dureza y flúor), los cuales se encuentran dentro del rango establecido por los LMP ECAs de la normativa nacional y parámetros bacteriológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes, echeria Coli y organismos de vida libre), los cuales superan los LMP de la normativa nacional. La recolección de la información se realizó mediante toma de muestras en campo, realizando el monitoreo con equipos multiparametro de agua, y para el análisis químico y bacteriológico se envió las muestras a la ciudad de Lima. Los resultados finales arrojan que en el centro poblado de Agua Fresca tiene un ICA de 79,08 el cual fue determinado por el método NSF, donde considera 9 parámetros de mayor importancia como son: para el OD; coliformes fecales; pH; DBO5 ; NO3-

N; fosfatos; desviación de temperatura; turbiedad y SDT (Ott, 1978); con una ponderación de para el 0,17; 0,15; 0,12; 0,10; 0,10; 0,10; 0,10 0,08 y 0,08 respectivamente.

Pérez (2017), en su investigación sobre “Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo, durante el periodo 2014 – 2015” tuvo como fin primordial determinar el índice de calidad de agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo, durante el periodo 2014 – 2015. Dicho índice pretende clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua, calificada como excelente, buena, media, mala y muy mala. Para la evaluación se utilizó el indicador ICA – NFS, el cual contempla nueve parámetros que son: temperatura, pH, nitratos, oxígeno disuelto, fosfatos, coliformes fecales, turbiedad, sólidos disueltos totales y demanda bioquímica de oxígeno. Para conocer las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua se analizó la información de los años 2014 y 2015 obtenidas de la administración local del agua Moquegua , entidad prestadora de servicio, gerencia regional de salud y proyecto especial regional Pasto Grande, con dichos resultados se calculó el índice de calidad de Brown-NSF en el río Moquegua antes del vertimiento presenta un ICA-NSF de 51,44 que representa calidad media y en el tramo después del vertimiento tiene un ICA-NSF de 44,18 que representa calidad mala. Los monitoreos realizados en los años 2014 y 2015 antes y después del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, superan los estándares de calidad ambiental con la categoría 3, en los parámetros de pH, fosfatos, DBO5, OD y coliformes termotolerantes, mientras que los demás parámetros evaluados se encuentran dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua.

2.1.3. Antecedente regional

Silvestre (2022) en su tesis de grado sobre “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua de los ríos Ichu, Escalera, Opamayo y Mantaro durante el periodo 2017 – 2019” donde tuvo como eje central evaluar la influencia espacial y temporal del índice de calidad del agua de los ríos Ichu, Escalera, Opamayo y Mantaro tomando como base los parámetros fisicoquímicos y microbiológico durante el periodo 2017-2019. Metodología; tipo aplicada, nivel explicativo, diseño no experimental – longitudinal de tendencia y método científico; la población estuvo constituida por la red de puntos de muestreo a lo largo de los ríos en estudio, y como muestra se tomaron dos puntos de monitoreo y el muestreo fue el no probabilístico del tipo intencional), los cuales fueron evaluados en el período comprendido por los años 2017-2019 durante los doce (12) meses correspondientes a cada año; como instrumento de recolección de datos se usó la ficha donde se registró todos los resultados y el procesamiento de los mismos. Resultados, Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados reflejan el índice de calidad de agua de los ríos Ichu (83.9, 87.4 y 89.4) que corresponde a una excelente calidad de agua, mientras que el río Opamayo (93.5, 97 y 96.6) correspondiente a una calidad de agua excelente, el río Escalera (66.1, 61.7 y 73.7) correspondiente a una regular calidad de agua y el río Mantaro (80.7, 75 y 79.1 equivalente una buena calidad de agua. Asimismo, se mostraron diferencias significativas tanto para la evaluación espacial y temporal, obteniendo índices altos en el río Ichu e índices más bajos en el río Escalera. se concluye que el espacio y tiempo influyen significativamente en el índice de calidad del agua teniendo en consideración los parámetros fisicoquímicos, y microbiológicos del río Ichu, Escalera, Mantaro y Opamayo durante el periodo 2017-2019

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Índice de calidad de agua

El estudio de la medición del índice de la calidad del agua ha sido objeto de diversas discusiones en relación a su aplicación para el control del recurso hídrico a nivel mundial. A tal efecto, múltiples países han realizado indagaciones e indicadores que tienden a ser aplicados teniendo los propios criterios para ser evaluados, y por lo cual la respectiva aplicación deba corresponder debidamente a sus requerimientos y necesidades (Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016).

La evolución de los indicadores respecto a la calidad y contaminación buscan por finalidad el hecho de valorar la calidad del agua. La definición de un indicador de calidad o contaminación está sujeto a la comparación de la concentración de contaminantes los cuales estarán relacionados con estándares ambientales, de tal forma el índice refleja el número, la frecuencia y la magnitud mediante el cual, el estándar ambiental para un grupo de variables específicas es o no alcanzado en un periodo determinado (Yáñez 2018).

2.2.1.1. Calidad de agua

El término de calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua cumple con estándares y pueden ser usadas para diferentes propósitos como doméstico, riego, recreación e industrias. La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1996) citado por (Monteguardo, 2015).

Expresa la idoneidad del agua para sustentar diversos usos. Cualquier otra función particular tendrá ciertos requerimientos para las características biológicas, físicas o químicas del agua; sea el caso de los límites de la concentración de contaminantes para el consumo de agua potable, o límites de temperatura y rangos de potencial de hidrógeno (pH) para el ambiente acuático de las especies de invertebrados (Meybeck & Helmer, 1996) citado por (Alarcón, Aplicación de métodos de índices de calidad de agua (ICA) en el río Rímac , 2019).

Según CEPIS (2007), menciona que el agua es una de las Sustancias más difundidas y abundantes en el planeta tierra. Correctamente se denomina al agua "el solvente universal" y es un raro caso de sustancia que está presente en nuestro entorno, en los tres estados físicos: gas, líquido y sólido. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivos, tanto animales como vegetales (Laurente, 2015).

2.2.1.2. *Calidad de agua superficial*

La calidad de agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cursos y cuerpos de aguas superficiales y subterráneos. La alteración de estas características afecta la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como a la vida vegetal y animal (The Commission for Environmental Cooperation, 2008).

El agua cumple la función de transporte de nutrientes en la dinámica de los bosques amazónicos y la alteración de su calidad está referida principalmente a la potencial existencia de contaminantes en su composición y el aumento de la turbidez. Una acción determinada afecta la calidad del agua cuando modifica su composición incorporando elementos que resultan contaminantes, pudiendo perjudicar por tanto a otros componentes ambientales (como la biota acuática y las comunidades locales que la consumen) (Domus Consultoria Ambiental , s.f).

Las variaciones de sabor, color y olor en el agua superficial son a causa de modificaciones en el medio ambiente que son producidos por el deterioro y la modificación de las características naturales del agua, como puede ser concentraciones de mayor cantidad de ciertos parámetros, la eutrofización de embalses o la alteración de las aguas subterráneas (Pérez N. , 2017).

Los causantes de aquellos efectos se encuentran vinculados a la actividad humana, y las más importantes son las siguientes:

Uso minero

Uso industrial

Uso pecuario

Uso poblacional: desagües

2.2.1.3. Teorías del índice de calidad de agua

Las principales teorías del índice de calidad de agua se clasifican de la siguiente manera:

2.2.1.3.1. Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento:

Horton y Liebman (1969) son los primeros que plantearon el uso del Índice de Calidad del Agua ICA para que se puedan estimar patrones o condiciones de contaminación acuática y son los primeros en el diseño de una metodología unificada para su respectivo cálculo, Horton hace el uso de diez variables, donde se incluye las que comúnmente se muestrean, las cuales vienen a ser el Oxígeno Disuelto (OD), recuento de coliformes, pH, conductancia específica, alcalinidad, contenido de cloruro y la temperatura (Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016).

No obstante la evolución y la integración del Índice de Calidad de Agua (ICA) o en inglés Water Quality Index (WQI), de manera formal y debidamente demostrada se desarrolló en 1970 por Brow,

MacClelland, Deininger y Tozer, los cuales contaron con el apoyo de la Fundación Nacional de Saneamiento (FNS) o en inglés National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, el cual ha tenido un gran apogeo ya que ha sido el más usado y respetado en los Estados Unidos (EE.UU.); viene a ser un índice que se basó en la constitución del índice de Horton y en el método Delphi para así conceptualizar los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo, actualmente es reconocido como el Índice de Calidad de Agua de la NSF (ICA-NSF) (Ball y Church 1980).

Sin embargo, el hecho de haber sido desarrollado en los Estados Unidos no ha sido impedimento para que se haya empleado a nivel mundial y haya sido aceptado y/o adaptado en diferentes estudios (Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016). El método consistió en la composición del punto de vista de un total de 142 profesionales expertos en gestión de la calidad del agua de diversos sitios de los Estados Unidos a través del desarrollo de tres estudios. El primer estudio consistió en un total de 35 variables de contaminación; los expertos brindaron su opinión respecto a ello y de esa manera dividieron los mismos en tres categorías según lo que debería ser el parámetro: “no incluido”, “indeciso” o “incluido” y seguido a ello, se tuvo que asignar una calificación de 1 a 5 de acuerdo a la magnitud de su importancia ya venga a ser menor o mayor, siendo el número 1 la clasificación más relevante (Ott, 1978).

Para el segundo estudio se brindó la evaluación de comparación de las respuestas obtenidas por todo el conjunto de expertos. El resultado de este segundo estudio se reconocieron 9 variables como vienen a ser las de mayor importancia: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO5, nitratos, fosfatos, desviación de temperatura, turbidez y sólidos totales (Universidad Nacional de Pamplona 2010).

Por último, el tercer estudio, abarco la tarea de ejecutar una curva de valoración para cada variable. Los niveles de calidad del agua obtuvieron un rango de 0 a 100 que fueron identificadas y ubicadas en las ordenadas y los diversos niveles de las variables en las abscisas. Cada participante tuvo el trabajo de realizar la curva que esta representaba la variabilidad de la calidad del agua provocada por el nivel de contaminación de las variables (Universidad Nacional de Pamplona 2010).

Dichas curvas se conocieron como “Relaciones Funcionales” o “Curvas de Función”. Para cuantificar el índice de calidad del agua se utilizó una suma lineal ponderada y el resultado de su aplicación tendrá que ser un numero entre 0 y 100, donde 0 significa que la calidad del agua viene a ser muy pobre mientras que 100 representara una agua de calidad excelente (Ott, 1978).

Para el proceso de formulación y el respectivo cálculo del índice se ha empleado la ponderación de los subíndices, en otras palabras, es un índice que otorga pesos específicos a las variables de acuerdo a su importancia y/o relevancia dentro del conjunto agregado. Para el caso descrito, la variable de que posee mayor relevancia pertenece al oxígeno disuelto y la de menos importancia los sólidos disueltos totales (Universidad Nacional de Pamplona 2010).

2.2.1.3.2. Índice de Calidad del Agua Canadiense

Uno de los índices más utilizados@ es el propuesto por el “Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente”, o denominado en inglés “Canadian Council of Ministers of the Environment”, reconocido también por sus siglas en ingles CCME, quien hace la propuesta de evaluar de forma amplia la calidad del agua en un lapso de tiempo determinado teniendo en consideración la cantidad de parámetros que sobrepasan el estándar de referencia, el número de datos que no cumplen con el mencionado estándar y la

magnitud de superación (CCME, 2001). No obstante, la metodología indicada se caracteriza por su flexibilidad en relación al número y tipo de parámetros utilizados.

En Canadá en 1995, El Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, CCME por sus siglas en inglés, llevo a cabo un WQI dirigido en un inicio a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas fundamentado al balance de los valores para cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es recopilado a partir de una norma o guía de calidad del agua; dada su tolerancia en los parámetros y su utilización de directrices para proteger la vida acuática que emplea, el índice otorga la opción de evaluar la calidad de las aguas que están dirigidas para el consumo humano (Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016).

2.2.1.3.3. Índice de Calidad del Agua de Europa

En Europa, Boyacioglu ejecuto el Universal Water Quality Index constituido por 11 parámetros fisicoquímicos y uno microbiológico, con el objetivo de brindar un método más simplificado para describir la calidad de las aguas superficiales destinadas para el abastecimiento de agua potable. Por otra parte, los aportes han provenido de estudios como los de van Helmond y Breukel en 1996, los cuales reflejaron que por lo menos 30 índices de calidad de agua vienen a ser de uso común alrededor del mundo (Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016).

2.2.1.3.4. Índice de Calidad del Agua de la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental-Brasil:

En Brasil, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental implementó y desarrolló el WQI de agua cruda destinada para el abastecimiento público como respuesta al incremento de la complejidad de los contaminantes que se han vertido a cuerpos de agua; su cálculo se lleva a cabo a través del producto de la

ponderación de lo que resulta del índice de calidad de agua y el índice de sustancias tóxicas condituido en el año 2002 (Hernández, Nolasco, & Salguero, 2016).

2.2.1.3.5. Índice de Calidad de Agua para los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú ICA-PE:

En el Perú la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el marco de sus funciones, presentó mediante Resolución Jefatural N° 068 - 2018-ANA aprobó la “Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua para los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú ICA-PE”, ello como una herramienta que tiene el fin principal la valoración simplificada de la calidad del agua, y que ello aportara a un mejor conocimiento de la gestión de calidad de los recursos hídricos.

Los parámetros empleados vienen a ser: Oxígeno Disuelto, Clorofila A, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Termotolerantes (Fecales), Huevos y Larvas de Helminths, Arsénico, Mercurio, Plomo, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Manganeseo, Aluminio, Boro, Boro, Solidos suspendidos totales, Fósforo, Amoniac, Nitrógeno Total, Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH); los parámetros de evaluación por consecuencia deberán ser usados por cada ECA- Agua según la “Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y Marino Costeros”, esta metodología está basado en el ICA Canadiense ampliamente usada.

En ese sentido, los ICA's conforman un instrumento principal debido a que permiten emitir la información de forma simplificada de la calidad del recurso hídrico en relación a las autoridades competentes y al público en general; a la vez identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo. Viniendo a ser la valoración de la calidad del

agua en una escala de 0 - 100, donde 0 (cero) viene a representar aguas de mala calidad y 100 corresponde a una calidad excelente. Por lo expuesto, este índice ha poseído un uso generalizado desde su creación y es utilizado por una cantidad considerable de países. Múltiples índices han sido desarrollados y empleados en diferentes investigaciones para realizar la clasificación de las aguas para disímiles usos, cada uno de ellos posee propiedades y características y que generalmente logran buenos resultados en las zonas en que se recopilaron. (MINAGRI-DCERH, 2018).

2.2.1.4. Bases legales en Perú de la gestión sostenible de aguas

A continuación, en la tabla se resumen las principales normas y su ámbito de aplicación en el marco peruano:

Norma		Descripción	Aplicación
Constitución Política del Perú	Ley N° 30588	Ley de Reforma Constitucional que reconoce el derecho al agua como derecho constitucional que incorpora el artículo 7°-A en la Constitución Política del Perú.	El Estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos.
	Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA	Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua, aplicado a los cuerpos de aguas continentales superficiales.	
ANA	Resolución Jefatural 036-2018-ANA	Identificación de fuentes contaminantes.	Usuarios con autorización de vertimiento de aguas residuales, el pago se efectúa en forma anual y por adelantado. Normativa que implementa la Huella Hídrica a fin de reducir el consumo de agua en la cadena de producción de bienes y servicios, y la implementación de acciones de responsabilidad social en el uso del recurso hídrico que generen valor compartido.
	Resolución Jefatural N° 058-2017-ANA	Regula forma y plazos para el pago de retribución económica por parte de los usuarios por el uso de agua y por el vertimiento de aguas residuales	
	Resolución Jefatural N° 126-2017-ANA	Norma que promueve la Medición Voluntaria de la Huella Hídrica.	
	Resolución Jefatural N° 010-2016-	Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua Superficial.	

	ANA Resolución Jefatural N° 030-2016- ANA	Nueva Clasificación del cuerpo marino-costero.	Clasificación del cuerpo marino para su protección como cuerpo receptor marino de los efluentes tratados.
	Resolución Jefatural N° 187-2016- ANA	Directiva General denominada Normas y procedimientos para la administración, seguimiento, control y conciliación de las recaudaciones por retribución económica por uso de agua y por vertimiento de aguas residuales	
	Resolución Jefatural N° 224-2013- ANA	Nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas.	Regulación sobre el vertimiento de las aguas residuales tratadas.
	Resolución Jefatural N° 202-2010- ANA	Aprueban la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros	Ver lo de Cuerpos Marino Costeros. Nueva Clasificación.
	Resolución Jefatural N° 274-2010- ANA	Dictan medidas que permitan la implementación de Programa de Adecuación de Vertimiento y Reúso de Agua Residual (PAVER).	
	Ley N° 29338	Ley de Recursos Hídricos.	Vertimiento y Calidad. Aprovechamiento sostenible.
	Decreto Supremo N° 001-2010- AG	Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos y sus Modificaciones.	Vertimiento y Calidad. Aprovechamiento sostenible
MINAGRI	Resolución Ministerial N° 033- 2008-AG	Metodología de Codificación de Unidades Geográficas de Pfgsetter, Memoria descriptiva y el Plano de Delimitación y Codificación de las Unidades Geográficas del Perú.	Clasifica las regiones hidrográficas.
	Decreto Supremo N° 007-2010- AG	Protección de la Calidad de los Recursos Hídricos.	Declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados, con el objeto de prevenir el peligro de daño grave o irreversible que amenace a dichas fuentes y la salud de las actuales y futuras generaciones
MINAM	Ley N° 28611	Ley General del Ambiente.	El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan. Además, regula los vertimientos autorizándolas, siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.

Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM	Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias.	Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente
---	--	--

2.2.1.5. Ventajas y limitaciones del índice de calidad de agua

La siguiente tabla , muestra las principales ventajas y limitaciones del índice de calidad del agua (Torres, *et al*, 2009).

Tabla

1.

Ventajas y limitaciones del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Ventajas	Limitaciones.
-Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.	-Proporcionan un resumen de los datos.
-Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	-No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
-Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.	-No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
-Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.	-No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
-Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas y ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.	-Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
-Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.	-Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, afectando la credibilidad de los WQI como una herramienta para la gestión.
-Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.	-Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.

Fuente: Torres *et al*. (2009).

Horton (1965) citado por Rodríguez et al. (1997) proponen el uso de ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática y son pioneros en la generación de una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICA de manera

formal y demostrada lo hicieron Brown et al. (1970) con el apoyo de la National Sanitation Foundation (NSF), basándose en la estructura del índice de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo. La clasificación consideró las características que debe presentar la fuente de captación para su destinación para consumo humano. A pesar de haber sido desarrollado en Estados Unidos, es ampliamente empleado en el mundo y ha sido validado y/o adaptado en diferentes estudios.

2.2.1.6. Clasificación de los índices de calidad de agua

El valor del ICA permite clasificar el recurso a partir de rangos establecidos que son definidos considerando el o los usos a evaluar. Las categorías, esquemas o escalas de clasificación, son un punto de igual o mayor interés que el cálculo en sí del índice, pues es aquí donde finalmente el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad final del agua (Fernández et al., 2008). En la tabla 9 y figura 2 se presentan los rangos de clasificación para cada uno de los ICA presentados (Monteguardo, 2015).

Tabla 2.
Clasificación de los ICA

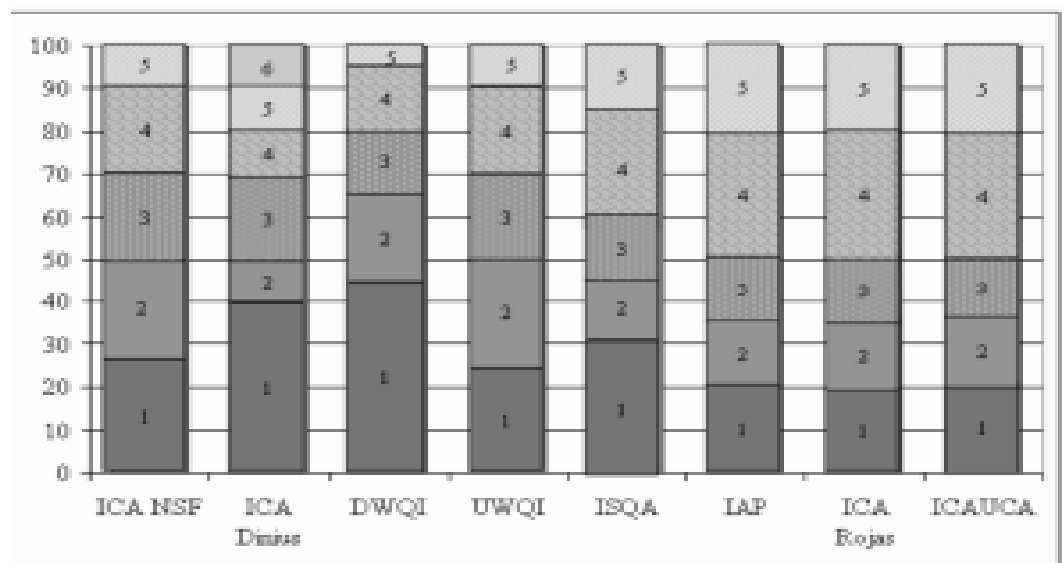
Cód.	ICA							
	ICA NSF	ICA Dinius	DWQI	UWQI	ISQA	IAP	ICA Rojas	ICAU/CA
1	Muy Mala Calidad	Inaceptable su consumo	Pobre	Pobree	No puede usarse	Pésima	May Mala	Pésima
2	Mala Calidad	Dadoso para consumo	Marginal	Marginal	Recreación y Refrigeración	Mala	Inadecuada	Inadecuada
3	Mediana Calidad	Tto potabilización necesario	Regular	Regular	Consumo humano con tratamiento especial, Riego, Industrial	Regular	Aceptable	Aceptable
4	Buena Calidad	Dadoso consumo sin Tto	Buena	Buena	Consumo humano con tratamientos convencionales	Buena	Buena	Buena
5	Excelente Calidad	Tto menor requerido	Excelente	Excelente	Todos los usos	Optima	Optima	Optima
6	-	No requiere Tto Para consumo	-	-	-	-	-	-

En la tabla 9 se observa que, con excepción del ICA Dinius, la generalidad de los ICA presenta 5 rangos de clasificación de calidad del agua los cuales varían de acuerdo con cada índice; sin embargo, los índices IAP, ICA e ICAUCA presentan rangos iguales (Rojas, 1991) citado por (Monteguardo, 2015).

En cuanto a la clasificación de cada rango, ésta generalmente indica el nivel de calidad de la fuente o define los usos para los cuales es apto el recurso con base en la puntuación obtenida en cada ICA (Monteguardo, 2015).

En general se observa que los rangos codificados con los números 1 y 2 clasifican el agua como de mala calidad la cual, de acuerdo con los ICA que definen usos es inaceptable para consumo humano; a partir del rango 3 hasta el 5, las clasificaciones describen aguas de mediana a excelente calidad, que de acuerdo con las recomendaciones dadas por los ICA que definen usos, requieren de tratamiento cuya complejidad depende del rango; así, a menor calidad mayores requerimientos en el tratamiento del agua (Monteguardo, 2015).

Figura 1.
Rangos de clasificación de los ICA



2.2.1.7. índice de calidad de agua en el Perú

En el Perú, la evaluación de la calidad del agua se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA - Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; lo que determina su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua a la hora de precisar o establecer el nivel de calidad de agua del recurso hídrico, es decir si esta tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o pésima (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

Los Índices de Calidad de Agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua. De acuerdo con la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés), los indicadores ambientales tienen dos funciones principales:

Reducen el número de mediciones y los parámetros que normalmente se requieran para hacer una representación exacta de una situación y simplifican el proceso de comunicación de los resultados de la medición.

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Consejo de Ministros de Medio Ambiente de Canadá, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés), el cual propone una evaluación más amplia de la calidad del agua en un período de tiempo determinado teniendo en cuenta el número de parámetros que superan un estándar de referencia, el número de datos que no cumplen con el mencionado estándar y la magnitud de superación (CCME, 2001). Con la finalidad de integrar toda la información obtenida y evaluar el estado de la calidad del

cuerpo de agua, con un valor único que califica el estado de la calidad del agua (ICA) (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

Por su elaboración metodológica, la propuesta del ICA seleccionada de la evaluación de diferentes indicadores aplicados en otros países, es adoptada porque nos permite adaptar todo lo que requiere para su determinación y cálculo, como la información base necesaria (resultados de los monitoreos), la clasificación de los cuerpos de agua (la categoría a ser evaluada según normativa) y los ECA - Agua, que como Autoridad competente en materia de agua en nuestro país se tiene: la base de datos, herramientas y normativas, sin la necesidad de requerir alguna referencia de otros países. Este ICA es denominado por la Autoridad como ICA - PE, durante el desarrollo del procedimiento y aplicación (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

2.2.1.8. *Cálculo del índice de calidad de agua en el Perú*

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca (MINAGRI-DCERH 2018).

La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

F1 - alcance: Representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, estándares de calidad ambiental para Agua (ECA- Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar (Ministerio de agricultura, 2018)

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA - Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

F2 - frecuencia: Representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos) (MINAGRI-DCERH 2018).

$$F_2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA - Agua de los Datos Evaluados}}{(\text{Número Total de Datos Evaluados})}$$

Donde:

Datos = Resultados de los monitoreos

F3 - amplitud: 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 (MINAGRI-DCERH 2018).

$$F_3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} * 100$$

En donde la Suma Normalizada de Excedentes (NSE):

$$nse = \text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}}$$

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 (MINAGRI-DCERH 2018).

Caso 1: 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:

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA - Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en ECA - Agua}} - 1$$

Caso 2: 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, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA - Agua} - 1}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA - Agua}}$$

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua, 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. Se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{ICA - PE} = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se emplea una aplicación en Microsoft Excel (hoja de cálculo), un macro donde se introduce los datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F1, F2, y F3) y asimismo 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, malo, regular, bueno y excelente (MINAGRI-DCERH 2018).

Figura 2.
Rango de evaluación del ICA Pe

ICA – PE	Calificación	Interpretación
90 – 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados
75 – 89	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
45 – 74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
30 – 44	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0 - 29	Pésimo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre <u>esta</u> amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: (MINAGRI-DCERH 2018)

2.2.1.9. índice de calidad de agua canadiense (método CCME-WQI)

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) que fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas. Es una herramienta para generar resúmenes de los datos de calidad útiles tanto para técnicos como para políticos, así como para el público en general interesado en ese conocimiento. No es un sustituto de los análisis detallados de la calidad de las aguas (CCME, 2001) citado por (Balmaseda & García, 2014).

Este índice se basa en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud. El alcance (F1) define el porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de niveles deseables para el uso que se esté evaluando respecto al total de variables consideradas. La frecuencia (F2) se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de

cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral (CCME, 2001) citado por (Balmaseda & García, 2014).

Alcance:

$$F1 = \frac{\# \text{ de variables fuera del rango}}{\text{total de variables}} * 100$$

Frecuencia:

$$F2 = \frac{\# \text{ de datos fuera del rango}}{\text{total de variables}} * 100$$

Amplitud:

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01(nse) + 0.01} \right) * 100$$

$$F1 = \frac{\sum \text{Excursión}}{\text{total de datos}}$$

$$\text{Excursión} = \left(\frac{\text{valor excedido del rango}}{\text{rango}} \right) - 1$$

Índice canadiense de calidad de las aguas:

$$CCME - WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

Tabla 3.
Criterios para la clasificación de las aguas

CCME_ WQI	Clasificación	Descripción
95-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia virtual de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80-94	Buena	La calidad del agua está protegida con algunas amenazas o daños de poca magnitud. Las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.
65-79	Regular	La calidad del agua es usualmente protegida pero ocasionalmente es amenazada o dañada. Las condiciones a veces se apartan de los niveles naturales o deseados.
45-64	Marginal	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o dañada.

		Las condiciones con frecuencia se apartan de los niveles naturales o deseados.
0-44	Pobre	La calidad del agua está casi siempre amenazada o dañada. Las condiciones usualmente se apartan de los niveles naturales o deseados.

Fuente: (Balmaseda & García, 2014).

2.2.1.10. *índice de calidad de agua de europa (método UWQI)*

En Europa se desarrolló el Universal Water Quality Index – UWQI– conformado por 11 parámetros fisicoquímicos y uno microbiológico, con el objetivo de proporcionar un método más sencillo para describir la calidad de las aguas superficiales utilizadas para el abastecimiento de agua potable. El cálculo se basa en las directivas de la Unión Europea para aguas a ser destinadas al consumo humano previo tratamiento, con el fin de facilitar su uso en los diferentes países que la conforman (Boyacioglu, 2007) citado por (Monteguardo, 2015).

UWQI (Europa)

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i$$

Promedio aritmético ponderado:

W_i: peso o porcentaje asignado al iésimo parámetro

I_i: subíndice de i-ésimo parámetro

El UWQI de Europa emplea para una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada que es menos sensible a variaciones extremas en la calidad del agua, condición que limita su uso en la evaluación de la calidad del agua en fuentes superficiales sometidas a cambios súbitos y extremos en sus características físicas, químicas y microbiológicas (Monteguardo, 2015).

Tabla 4.
Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos empleados por diferentes ICA

País	Estados Unidos		UNEP-GEMS		Unión Europea	España	Brasil		Colombia		Frec.	
	Índice	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987	DWQI		UWQI 2007	ISQA 1982	IAP		ICA Rojas 1991		ICAUCA 2004
				HWQI 2007	AWQI 2007			IQA 1975	ISTO 2002			
Parámetro												
OD	x	x			x	x	x		x	x	0.70	
pH	x	x		x	x		x		x	x	0.70	
DBO	x	x			x		x		x	x	0.60	
Nitratos	x	x	x		x						0.50	
Coliformes Fecales	x	x					x		x	x	0.50	
Temperatura	x	x				x	x				0.40	
Turbiedad	x						x		x	x	0.40	
Sólidos Disueltos Totales	x						x		x	x	0.40	
Fósforo Total					x		x			x	0.30	
Cadmio			x		x		x				0.30	
Mercurio			x		x		x				0.30	
Conductividad		x				x					0.20	
Sólidos Suspendidos						x				x	0.20	
Color		x								x	0.20	
Nitrógeno Total							x			x	0.20	
Cloruros		x		x							0.20	
Plomo			x				x				0.20	
Cromo Total			x				x				0.20	
Arsénico			x		x						0.20	

País	Estados Unidos		UNEP-GEMS		Unión Europea	España	Brasil		Colombia		Frec.	
	Índice	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987	DWQI		UWQI 2007	ISQA 1982	IAP		ICA Rojas 1991		ICAUCA 2004
				HWQI 2007	AWQI 2007			IQA 1975	ISTO 2002			
Parámetro												
Fluoruro			x		x						0.20	
Manganeso			x					x			0.20	
Zinc				x				x			0.20	
Coliformes Totales		x			x						0.20	
DQO						x					0.10	
Alcalinidad		x									0.10	
Dureza		x									0.10	
Nitritos			x								0.10	
Amoniaco				x							0.10	
Fosfatos	x										0.10	
Sodio				x							0.10	
Sulfatos				x							0.10	
Hierro				x							0.10	
Cobre			x								0.10	
Boro			x								0.10	
Níquel								x			0.10	
Cianuro					x						0.10	
Selenio					x						0.10	
PFTHM									x		0.10	
Aluminio Disuelto									x		0.10	
Cobre disuelto									x		0.10	
Hierro Disuelto									x		0.10	
COT								x			0.10	
Total Parámetros	9	12		18	12	5		20	6	10		

Fuente: Torres, Cruz, & Patiño (2009)

Los parámetros seleccionados en el UWQI son los representativos de la presencia de sustancias químicas en el agua y causantes de impactos sobre la salud y el ambiente, razón por la cual se incluyeron algunos recomendados por las guías de OMS (1998) para monitoreo y evaluación de la calidad química del agua potable (Monteguardo, 2015).

La asignación de pesos (ponderación) de cada parámetro tiene mucho que ver con la importancia de los usos pretendidos y la incidencia de cada variable en el índice (Fernández et al., 2008).

Tabla 5.
Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los ICA

<i>País</i>	<i>Estados Unidos</i>		<i>Unión Europea</i>	<i>Colombia</i>	
<i>Índice</i>	<i>ICA NSF</i>	<i>ICA Dinius</i>	<i>UWQI</i>	<i>ICA Rojas</i>	<i>ICAUCA</i>
<i>Parámetro</i>	<i>1970</i>	<i>1987</i>	<i>2007</i>	<i>1991</i>	<i>2004</i>
OD	0.17	0.109	0.114	0.25	0.21
pH	0.11	0.077	0.029	0.17	0.08
DBO	0.11	0.097	0.057	0.15	0.15
Nitratos	0.10	0.090	0.086		
Coliformes Fecales	0.16	0.116		0.21	0.16
Temperatura	0.10	0.077			
Turbiedad	0.08			0.11	0.07
Sólidos Disueltos Totales	0.07			0.11	0.07
Fósforo Total			0.057		0.08
Cadmio			0.086		
Mercurio			0.086		
Conductividad		0.079			
Sólidos Suspendidos					0.05
Color		0.063			0.05
Nitrógeno Total					0.08
Cloruros		0.074			
Arsénico			0.113		
Fluoruro			0.086		
Coliformes Totales			0.114		
DQO		0.090			
Alcalinidad					
Dureza		0.063			
Fosfatos		0.065			
Cianuro	0.10				
Selenio			0.086		
			0.086		

Fuente. Torres, Cruz, & Patiño (2009)

Los ICA mostrados en la tabla 8 son lo que emplean asignación de pesos (W) a cada uno de los parámetros que los conforman; los restantes emplean estructuras de cálculo que no requieren dicha asignación. Con relación al nivel de importancia de cada parámetro de acuerdo con el peso asignado, el oxígeno disuelto y los coliformes fecales tienen un alto grado de importancia, presentando en general los mayores pesos (Monteguardo, 2015).

2.2.2. Contaminación del agua

La contaminación del agua es la acumulación de sustancias tóxicas y derrame de fluidos en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) alterando la calidad del agua (Galarza, 2016).

Las sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un curso de agua, al ser excedidos causan o pueden causar daños a la salud, y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente (Galarza, 2016).

La contaminación del agua ha aumentado en los últimos años y también ha decrecido la calidad de muchos depósitos de agua que son ocasionados por las termoeléctricas. El aumento en la actividad industrial ha incrementado la polución de las aguas de la superficie terrestre y está contaminando cada día los depósitos de agua subterráneas. Para calcular la contaminación de las aguas se usa la medición de la demanda bioquímica de oxígeno o DBO, verificándose la cantidad de oxígeno en un volumen unitario de agua durante el proceso biológico de la degradación de la materia orgánica. La contaminación de las aguas provoca efectos como la distorsión de los ecosistemas, las fuentes de alimento y la belleza natural (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.1. Fuentes contaminantes del agua

Las fuentes de contaminación, conocidas también como, efluentes contaminantes que van a ser usados como insumo el agua, y poseen elementos y sustancias con propiedades físicas, químicas y bacteriológicas que alteran las propiedades del cuerpo receptor o al componente ambiental donde son vertidos; como, por ejemplo:

Vertimiento de aguas negras o servidas a los ríos, lagos o mar.

Vertimiento de basuras y desmontes en las orillas del mar, ríos y lagos.

Actividades informales y clandestinas en las orillas de los ríos: curtiembre, fundición de baterías de autos recicladas.

Los efluentes líquidos que provienen de las distintas actividades de los sectores productivos (labores de excavación, planta de tratamiento de aguas residuales, derrames de aceites, productos químicos como fertilizantes agrícolas y plaguicidas, etc (Ramirez, 2014).

Lo antes mencionado afectara y por ende alteran las propiedades naturales de los recursos hídricos, casualmente por actividades naturales, pero en su gran cantidad los impactos serán generados por la actividad humana (Meza, 2016).

A. Contaminación puntual: Viene a ser aquella que vierte sus aguas en cuerpo natural. En este punto el agua podrá ser medida, tratada o controlada. Van a estar comúnmente relacionadas a las industrias y las aguas negras municipales (Meza, 2016).

B. Contaminación difusa: Vendrá a ser aquel tipo de contaminación generada en un área abierta, están comúnmente vinculada a las actividades de uso de tierra tales como, la

agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales (Meza, 2016).

2.2.2.2. *Tipos de contaminantes*

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.1. Contaminación natural

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales, por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos (Barba, 2002), contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos, normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy específicos (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.2. Contaminación difusa

Se concentra en zonas concretas o puntual, por ejemplo, zonas de vertido de aguas residuales, industriales y domésticas, siendo muchas veces más peligrosa que la contaminación natural (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.3. Contaminación industrial

Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos, normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. El sector industrial, construcción, minería, energía, las sustancias contaminantes principales son sólidos en suspensión, los radicales ácidos y alcalinos,

metales pesados, materia orgánica, etc. (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.4. Contaminación por vertimientos urbanos

La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, sales, ácidos, etc.) (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.5. Contaminación por navegación

Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos. Convenios como el Marpol (Disminución de la polución marina procedente de tierra) de 1974 y actualizado en 1986 y otros, han impulsado una serie de medidas para frenar este tipo de contaminación (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.6. Contaminación por agricultura y ganadería

Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.7. Contaminación biológica

En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por microorganismos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. El agua de consumo humano según la OMS (Organización Mundial de la Salud)

debe presentar cero colonias de coliformes por cada 100 ml de agua (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.8. Contaminación química

En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas. Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas, cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos citado por (Aréstegui, 2019).

2.2.2.2.9. Contaminación física

Las sustancias radiactivas como isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando al largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua. La contaminación térmica en el agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos (Barba, 2002) citado por (Aréstegui, 2019).

2.3. Formulación de las hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

La evaluación de la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental

(ICA) influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

2.3.2. Hipótesis específicas

El nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

Los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye significativamente para su conservación del ambiente acuático.

2.4. Definición de términos

- A. Arsénico:** Metal pesado venenoso y muy tóxico, en aguas naturales se presenta como arseniato (AsO_4^{3-}) y arsenito (AsO_2^-); su presencia puede tener origen en descargas industriales o uso de insecticidas (ANA, 2009).
- B. Aluminio:** Es uno de los elementos que más abunda en la corteza terrestre, pero su presencia en las aguas naturales es ínfima.
- C. Amoníaco:** Se forma por desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. El amoníaco es fácilmente captado por las plantas y puede contribuir a la productividad biológica, en presencia de oxígeno se oxida a nitritos y nitratos (nitrificación) (ANA, 2009).
- D. Boro:** El boro, es un elemento que se encuentra en las aguas naturales debido a dos factores, al aporte de la geología natural y/o a los vertidos de efluentes de aguas residuales tratadas y no tratadas (ANA, 2009).

- E. Cadmio:** El Cadmio se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro y como impureza de minerales de zinc y plomo. Su presencia en el agua es debido a las actividades mineras y de fundición (ANA, 2009).
- F. Cromo:** La concentración de cromo en los cuerpos naturales de agua por lo general es muy pequeña. La actividad minera y los procesos industriales pueden producir elevadas concentraciones de este elemento. Es un metal tóxico para la salud humana (ANA, 2009).
- G. Cobre:** El un elemento traza altamente distribuido en las cuencas hidrográficas, pero la mayoría de los minerales de cobre son relativamente insolubles y a que el cobre es absorbido en fase sólidas, solo existe en bajas concentraciones en las aguas naturales (ANA, 2009).
- H. Coliformes Termotolerantes (Fecales):** La presencia de este parámetro en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen pueden ser por los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores, es por la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos (ANA, 2009).
- I. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** La DBO5 es un parámetro relacionado como aporte de la materia orgánica, mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su determinación es en base a la oxidación natural de degradación (ANA, 2009).
- J. Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La DQO se usa como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica (ANA, 2009).
- K. Fósforo:** El fósforo ingresa a las aguas superficiales por los vertimientos de saneamiento, es el segundo principal nutriente y

responsable de eutrofización de los cuerpos de agua superficial (ANA, 2009).

- L. Metales pesados:** Los metales pesados son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual (ANA, 2009).
- M. Mercurio:** Su presencia en las aguas se debe principalmente a las actividades antrópicas (minería, etc.), salvo en algunos lugares que por su propia naturaleza se encuentran depósitos de este mineral. Generalmente es un elemento que no abunda en la naturaleza (corteza terrestre) (ANA, 2009).
- N. Nitrógeno Total:** Su estudio es de gran importancia debido a los procesos vitales como nutrientes para las plantas, su aporte a las aguas naturales superficiales se debe a las aguas residuales domésticas sin tratamiento.
- O. Sólidos suspendidos totales:** Su presencia en los cuerpos de agua natural se relaciona con los factores estacionales y regímenes de caudal y es afectado por la precipitación.
- P. Oxígeno Disuelto:** Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua superficial, su presencia en el agua se debe al aporte del oxígeno de la atmósfera y de la actividad biológica (fotosíntesis) en la masa de agua (ANA, 2009).
- Q. Plomo:** El Plomo es un elemento relativamente de menor importancia en la corteza terrestre, pero está ampliamente distribuida en bajas concentraciones en rocas sedimentarias y suelos no contaminados (ANA, 2009).
- R. pH:** El pH en las cuencas hidrográficas donde escurren aguas naturales sin actividad antrópica, en cierta forma está determinado por

la geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato (ANA, 2009).


2.5. Identificación de variables

Variable Independiente: Calidad de agua

Variable Dependiente: Conservación del ambiente acuático

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 6.
Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	ESCALA	Instrumento
Calidad de agua	Se refiere a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos presentes en el agua.	Los parámetros fisicoquímicos serán obtenidos del resultado de los análisis realizados en laboratorio.	Parámetros físicos	temperatura, Turbiedad, Solidos disueltos totales, Fosforo	Verificar los Estándares de Calidad para parámetros físicos según el D.S. N° 004-2017-MINAM	Ficha de registro de datos
			Parámetros químicos	OD, DBO, nitratos, aluminio, zinc, arsénico, mercurio, plomo	Verificar los Estándares de Calidad para parámetros químicos según el D.S. N° 004-2017-MINAM	Ficha de registro de datos
			Parámetros microbiológicos	Coliformes fecales, Coliformes termo tolerantes	Verificar los Estándares de Calidad para parámetros microbiológicos según el D.S. N° 004-2017-MINAM	Ficha de registro de datos
Índice de calidad del agua	El término de calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede cumplir con estándares y pueden ser usadas para diferentes propósitos como doméstico, riego, recreación e industrias. La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua (Mendoza, 1996)	La medición de la variable se determinará teniendo el grado de concentración de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en el agua y aplicando los cálculos según indique el procedimiento de cada método.	Método ICA PE 15 parámetros	<p>Calificación</p>  <p>EXCELENTE BUENO REGULAR MALO PÉSIMO</p>	<p>ICA PE</p> <p>90 – 100 75 – 89 45 – 74 30 – 44 0 – 29</p>	Ficha de recolección de datos el cual se determinará con el cálculo del Índice de Calidad del Agua Perú determinada por la siguiente formula:

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

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de la investigación

Hernández, Fernandez y Baptista (2014) mencionan que la investigación aplicada es empleada para la resolución de problemas específicos identificados por el investigador con la finalidad de obtener información verídica y ayude a fortalecer los conocimientos tanto teóricos como científicos, así mismo la investigación aplicada cumple un rol fundamental ya que la investigación que se realiza en ese tiempo y espacio en condiciones normales puede ser aplicada en otro entorno donde cumpla las condiciones que se tuvieron en la primera investigación y así sucesivamente, forjando así un conocimiento universal y aplicable (pág. 127).

Para la presente investigación se empleará la investigación aplicada a fin de resolver los problemas planteados en la investigación, así mismo se busca mediante la investigación ampliar el conocimiento tanto teórico como experimental.

3.2. Nivel de investigación

El nivel explicativo según Salazar (2013) se basa identificar y describir las causas de un cierto suceso o fenómeno determinado con la finalidad de explicar las causas y efectos ciertas situaciones o eventos determinando o deduciendo a partir de la información que se tiene tales

como teorías o leyes. Al realizar este tipo de estudio se busca el análisis de la interacción de las cosas lo cual genera que la investigación presente mejores conclusiones. (pág. 22)

En la investigación que se está presentando se utilizó el nivel explicativo ya que mediante esta investigación se pretende detallar y explicar la calidad de agua con vertimientos de aguas residuales influye en la conservación del ambiente acuático, así mismo se empleó conceptos de teorías y metodologías internacionales que se emplean para el estudio de la calidad de agua mediante el ICA test.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método general

“El método científico es el conjunto de estrategias y procedimientos metódicamente secuenciales que tuvo como objetivo la comprobación empírica de un planteamiento (hipótesis) y que permitirá la interpretación de la realidad; sin embargo, sus conclusiones no pueden tomarse como una verdad absoluta” (Hernández R., Metodología de la Investigación, 2014).

Se tuvo en consideración como método general el científico ya que se establecieron las pautas y procedimientos adecuados para la obtención de los conocimientos requeridos por esta investigación.

3.3.2. Método específico

El método hipotético deductivo es uno de los modelos relacionados con el método científico, en donde se emplea la observación del fenómeno, la creación de una hipótesis para la explicación de dicho fenómeno, la deducción a partir de proposiciones elementales, y finalmente la verificación de la verdad de los enunciados deducidos a partir de la experiencia (Briones, 2002, pág. 75).

El método hipotético deductivo ayudará a la investigación dado que se establecen hipótesis las cuales deberán ser contrastadas a partir de análisis estadísticos, conclusiones del investigador y finalmente comparaciones con otros estudios realizados.

3.4. Diseño de investigación

La investigación tiene un diseño no experimental transversal, debido a que se realiza sin manipular ninguna variable de estudio, esto debido a que el investigador solo realiza la observación para medir a las variables al desarrollarse naturalmente sin ninguna intervención. (Valderrama, 2015, pág. 178)

Fue transversal debido a que se obtuvieron los resultados de la investigación en un solo periodo de tiempo.



Donde:

M: muestra de estudio

O: observación de variables

R: resultados sin manipulación de variables

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

La población según Borja (2012) se define como un conjunto total de elementos, individuos u objetos que poseen ciertas características comunes entre sí, por lo general están delimitados o se encuentran en un ámbito de estudio y en un momento determinado. Para la selección de la población se debe cumplir con ciertos parámetros a fin de obtener datos confiables y verídicos para la investigación que se está realizando (pág. 25).

Para esta investigación se presenta una población determinada, donde el objeto de estudio está definido por el río Ichu en su recorrido desde el camal municipal hasta santa rosa de la ciudad de Huancavelica.

3.5.2. Muestra

Para Avila (2006) la muestra está definida por una parte significativa de la población cuyo propósito es obtener información confiable, pero con menores probabilidades de error, tener una cantidad definida y exacta facilita la obtención de datos en la investigación y también se puede generalizar los resultados a partir de las conclusiones que se puedan obtener del estudio (pág. 44).

La muestra que se utilizará en el presente estudio estará dada por 16 puntos de muestreo a lo largo del recorrido del río Ichu que atraviesa principalmente por la ciudad y donde se aprecian las descargas de los vertimientos de aguas residuales.

3.5.3. Muestreo

El muestreo no probabilístico por conveniencia según Hernández, Fernández y Baptista (2014) es un método útil e importante para la obtención de las muestras que estarán definidas por el investigador ya que va a depender del discernimiento que emplee para la elección de los elementos que desea analizar siguiendo los criterios convenientes para la selección de los elementos (pág. 156).

Para la investigación se empleará el muestreo no probabilístico por conveniencia ya que la zona de estudio presenta variedad en los vertimientos de aguas residuales.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

La observación es una técnica muy aplicada en todas las investigaciones, es indispensable esta técnica puesto que ayuda y es de gran conveniencia para el investigador dado que le permite recolectar los datos de forma exacta, precisa y verídica, así mismo facilita el procesamiento de la información ya que emplea un análisis general de la problemática que identifica el investigador (Lerma, 2012, pág. 87).

Para la investigación que se está presentando se pretende emplear la observación dado que nos será de gran utilidad para la identificación de los puntos que se realizará el muestreo para el análisis del agua.

3.6.2. Instrumentos

La ficha de observación es un instrumento que va directamente enlazado con la técnica de la observación ya que en este instrumento se recolectan los datos que se obtienen a partir de la percepción de los sentidos así mismo esta ficha de observación permitirá obtener una información ampliamente detallada donde se registran los datos de mayor relevancia y por lo general el investigador es el que la diseña por lo cual no existen problemas en la aplicación del instrumento de investigación (Bernal, 2010, pág. 110).

Para la presente investigación se empleará la ficha de observación donde se tendrán los datos de la recolección de las muestras, y otros datos de vital importancia.

Botia (2005) menciona que en las investigaciones aplicadas a la ingeniería se aplica bastante el trabajo de campo, donde se realizan estudios apropiados y que tienen relación con la investigación que se

plantea, para este trabajo se empleará el muestreo de suelos donde se realizará el siguiente procedimiento:

Se identificaron los distintos puntos de muestreo, para ser exactos son 15 muestras, los puntos de muestreo serán elegidos de acuerdo a criterios del investigador.

Luego de la identificación se procedió a realizar las tomas de muestra de las aguas del río.

Para finalizar, se etiquetaron las muestras de acuerdo a su tipo de análisis que se le dio, así mismo este procedimiento fue de gran ayuda para la identificación de las muestras y su análisis respectivo.

Después de ello se realizó el procesamiento de los datos.

Así mismo se identificó la calidad del agua mediante el ICA test.

Finalmente se pudo contrastar las hipótesis de la investigación.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas estadísticas según Valderrama (2002), va a depender del tipo de variable que se tiene, en el caso de las variables mixtas, se realiza dos tipos de análisis, el análisis descriptivo y el análisis inferencial de los datos que se obtienen a partir del procesamiento (pág. 233).

Para el análisis descriptivo, Valderrama (2002) propone elaborar una base de datos diferenciados por variable a fin de realizar un análisis e interpretación más eficientes y rápidos, así mismo recomienda emplear el software SPSS la versión más actual de donde se obtendrán tablas de frecuencia porcentuales, medidas de tendencia central, y medidas de variabilidad, finalmente se obtendrán los diagramas de barras a fin de obtener una mayor comprensión de los resultados obtenidos (pág. 233).

Para la presente investigación se tuvo un análisis general de las muestras de agua donde se obtuvieron datos tanto cualitativos como cuantitativos por ende el software que se empleó es el SPSS, así como el programa Microsoft Excel a fin de obtener una base de datos para que se pudo obtener un procesamiento más rápido y así obtener mayor facilidad en la obtención de los resultados también se tuvieron tablas y graficas de frecuencia de los resultados del procesamiento de datos.

Respecto al análisis inferencial Valderrama (2002) menciona que la prueba de hipótesis generalmente está definida por el comportamiento de las variables, se analiza la normalidad que presentan los datos para que se pueda aplicar el estadístico a fin de contrastar la hipótesis que se plantea en la investigación (pág. 233).

Para la investigación se tuvo que evaluar los datos a fin de proponer un estadístico inferencial para el contraste de hipótesis de la investigación que se planteó al inicio de la investigación.

3.8. Descripción de la prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis de la investigación siguió el siguiente procedimiento:

Se realizaron las pruebas de normalidad respectivas a la variable dependiente, así como a sus respectivas dimensiones.

Después de determinar la normalidad se identificó el tipo de prueba estadística ya sea paramétrica o no paramétrica.

Identificando el nivel de significancia se dedujo la aceptación o rechazo de la hipótesis alterna planteada.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación e interpretación de datos

A partir del análisis realizado de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos necesarios para determinar el Índice de Calidad de Agua aplicando el ICA test, a continuación, se presentan los principales datos obtenidos.

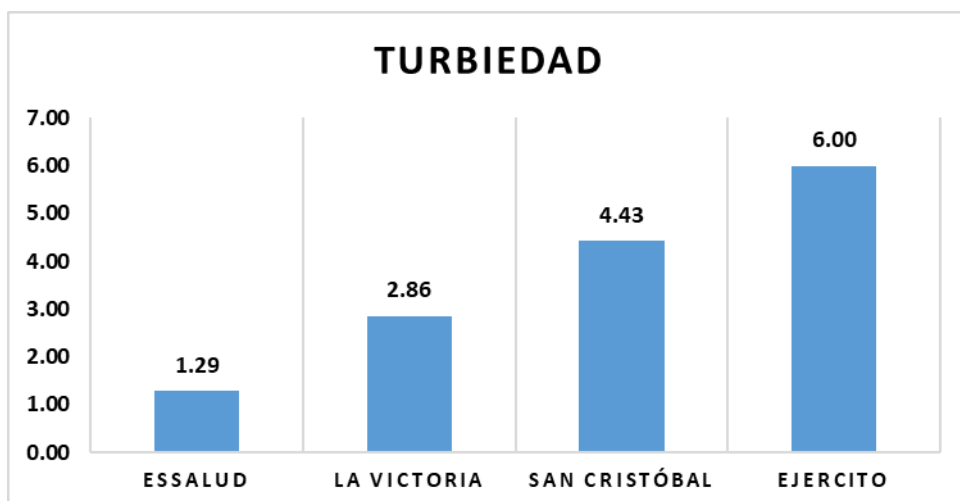
4.1.1. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico

A partir del análisis de las muestras evaluadas por sectores los cuales fueron el puente EsSalud, puente La Victoria, puente de San Cristóbal y puente del ejercito con 4 puntos de monitoreo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7.
Resultados del parámetro turbiedad

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito
P-01	1.17	2.74	4.31	5.88
P-02	1.24	2.81	4.38	5.95
P-03	1.31	2.88	4.45	6.02
P-04	1.44	3.01	4.58	6.15
Prom	1.29	2.86	4.43	6.00

Figura 3.
Resultados del análisis de la turbiedad



Interpretación:

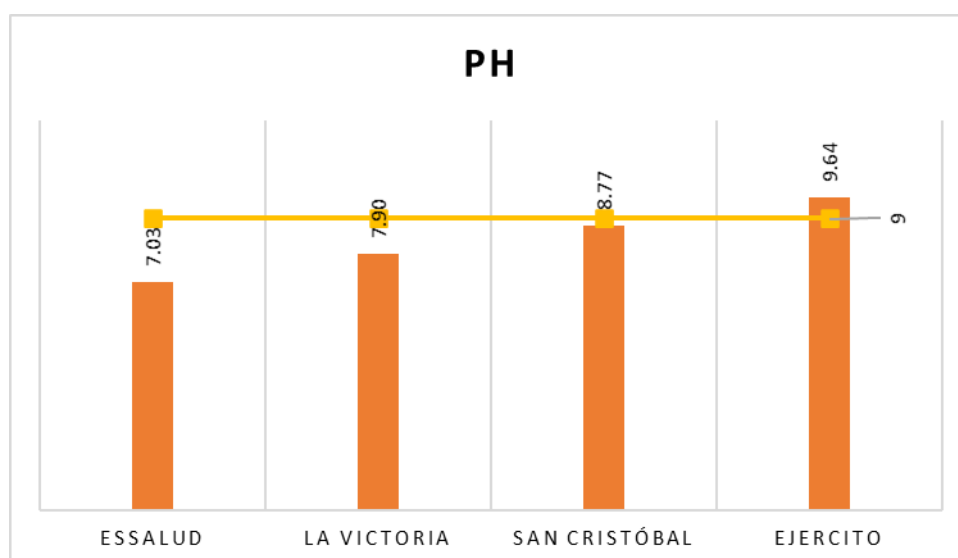
Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de la turbiedad analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 1.29 NTU, en el puente La Victoria de 2.86 NTU, en el puente de San Cristóbal el valor de 4.43 NTU y en el puente del Ejercito de 6.00 NTU, este parámetro no es contemplado en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático.

Tabla 8.
Resultados del parámetro pH

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	6.95	7.82	8.69	9.56	9
P-02	6.99	7.86	8.73	9.60	9
P-03	7.06	7.93	8.80	9.67	9

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-04	7.11	7.98	8.85	9.72	9
Prom	7.03	7.90	8.77	9.64	9

Figura 4.
Resultados del análisis del pH



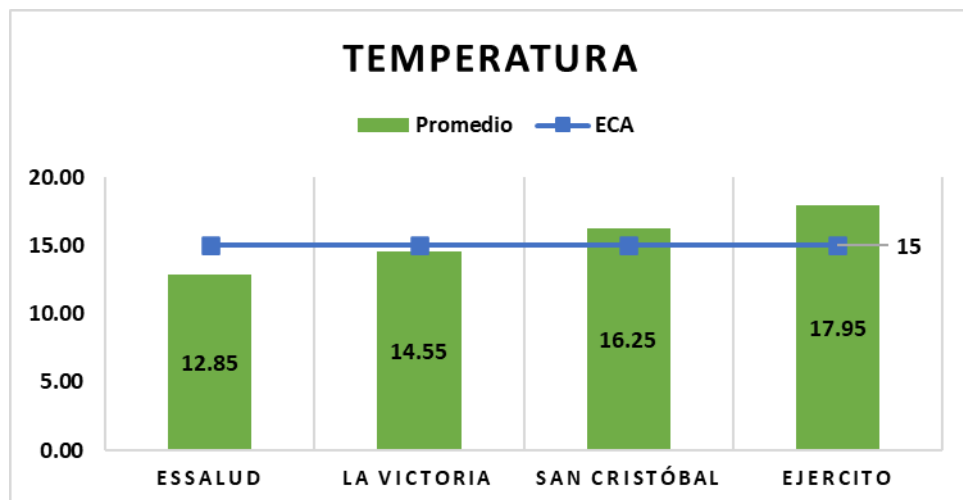
Interpretación:

Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro del pH analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 7.03 unidades de pH, en el puente La Victoria de 7.90 unidades de pH, en el puente de San Cristóbal el valor de 8.77 unidades de pH y en el puente del Ejercito de 9.64 unidades de pH, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, solo en el sector del puente del Ejercito sobrepasa el valor establecido de 9 unidades de pH.

Tabla 9.
Resultados del parámetro temperatura

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	12.80	14.50	16.20	17.90	15
P-02	12.60	14.30	16.00	17.70	15
P-03	12.90	14.60	16.30	18.00	15
P-04	13.10	14.80	16.50	18.20	15
Prom	12.85	14.55	16.25	17.95	15

Figura 5.
Resultados del análisis de la temperatura



Interpretación:

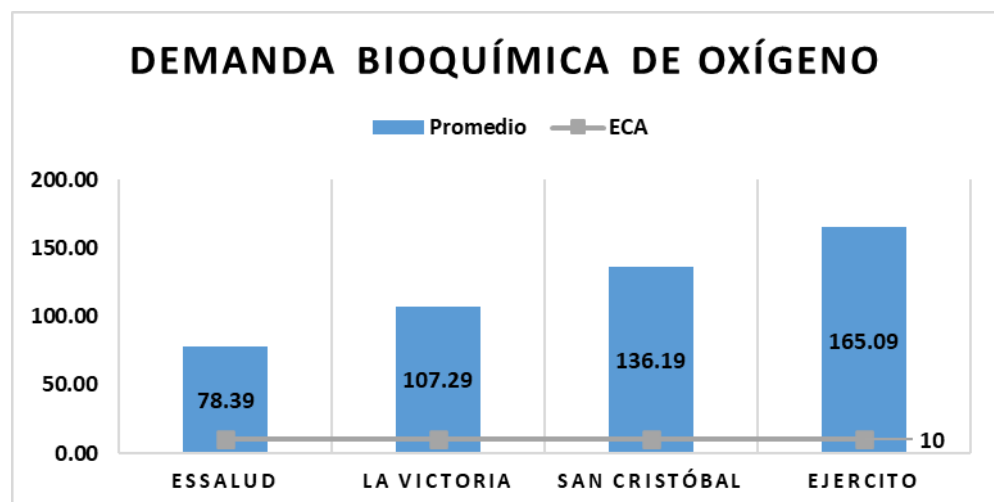
Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de la temperatura analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 12.85 °C, en el puente La Victoria de 14.55 °C, en el puente de San Cristóbal el valor de 16.25 °C y en el puente del Ejercito de 17.95 °C, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

categoría 4 conservación del ambiente acuático, en el sector del puente de San Cristóbal y el puente del Ejercito sobrepasa el valor establecido de variación de 3°C.

Tabla 10.
Resultados del parámetro demanda bioquímica de oxígeno

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	74.18	103.08	131.98	160.88	10
P-02	78.19	107.09	135.99	164.89	10
P-03	79.11	108.01	136.91	165.81	10
P-04	82.09	110.99	139.89	168.79	10
Prom	78.39	107.29	136.19	165.09	10

Figura 6.
Resultados del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno



Interpretación:

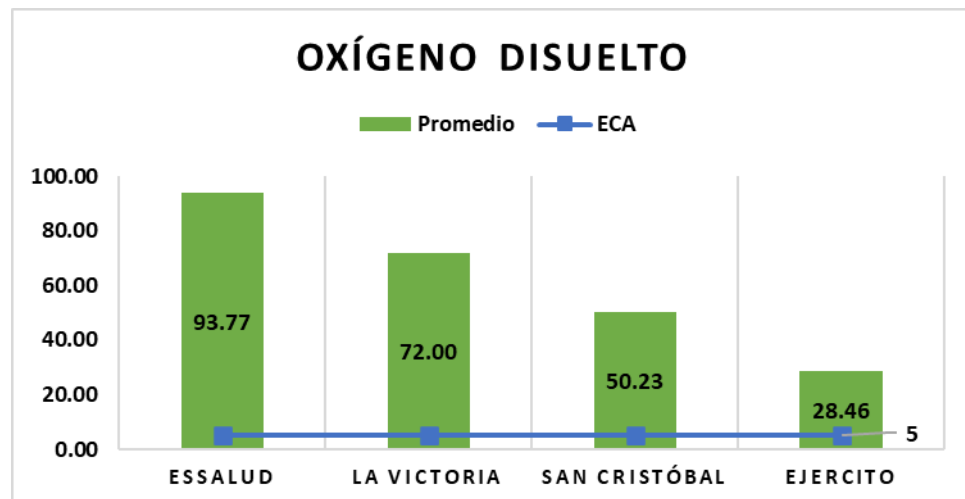
Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el

punto EsSalud fue de 78.39 mg/L, en el punto La Victoria de 107.29 mg/L, en el punto de San Cristóbal el valor de 136.19 mg/L y en el punto del Ejercito de 165.09 mg/L, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, en todos los sectores mencionados sobrepasa el valor establecido de 10 mg/L.

Tabla 11.
Resultados del parámetro oxígeno disuelto

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	95.78	74.01	52.24	30.47	5
P-02	89.12	67.35	45.58	23.81	5
P-03	99.11	77.34	55.57	33.80	5
P-04	91.06	69.29	47.52	25.75	5
Prom	93.77	72.00	50.23	28.46	5

Figura 7.
Resultados del análisis del oxígeno disuelto



Interpretación:

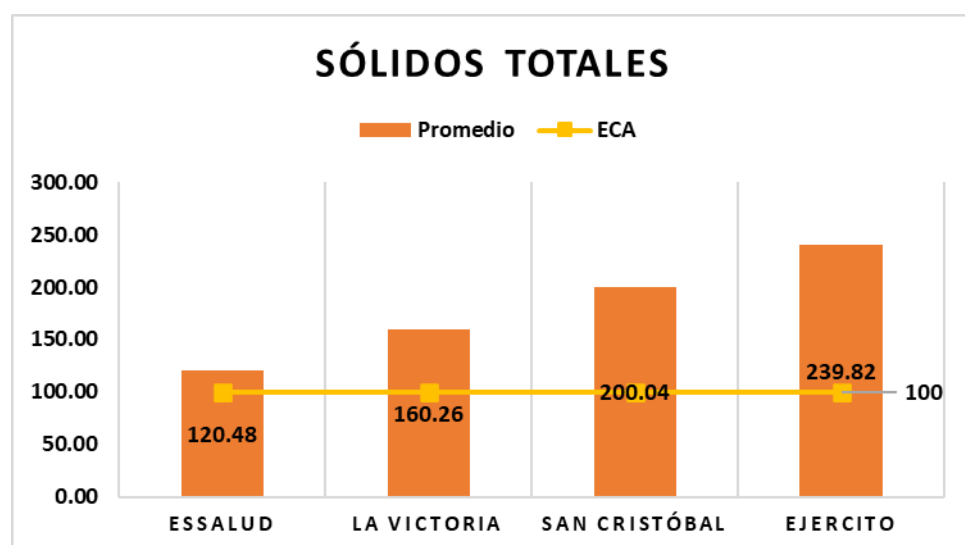
Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro del oxígeno disuelto analizado en 4 sectores del río Ichu que son el punto EsSalud, punto La

Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 93.77 mg/L, en el puente La Victoria de 72.00 mg/L, en el puente de San Cristóbal el valor de 50.23 mg/L y en el puente del Ejercito de 28.46 mg/L, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, en todos los sectores mencionados cumplen con el valor establecido de 5 mg/L.

Tabla 12.
Resultados del parámetro sólidos totales

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	114.89	154.67	194.45	234.23	100
P-02	119.85	159.63	199.41	239.19	100
P-03	121.47	161.25	201.03	240.81	100
P-04	125.71	165.49	205.27	245.05	100
Prom	120.48	160.26	200.04	239.82	100

Figura 8.
Resultados del análisis de los sólidos totales



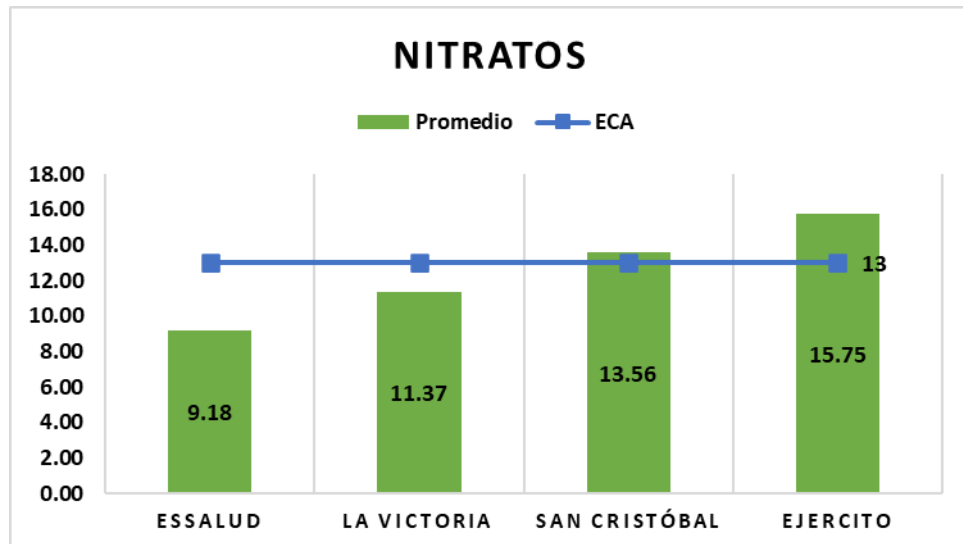
Interpretación:

Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de los sólidos totales analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 120.48 mg/L, en el puente La Victoria de 160.26 mg/L, en el puente de San Cristóbal el valor de 200.04 mg/L y en el puente del Ejercito de 239.82 mg/L, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, en todos los sectores mencionados no cumplen con el valor establecido de menor a 100 mg/L.

Tabla 13.
Resultados del parámetro nitratos

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	8.95	11.14	13.33	15.52	13
P-02	9.14	11.33	13.52	15.71	13
P-03	9.28	11.47	13.66	15.85	13
P-04	9.36	11.55	13.74	15.93	13
Prom	9.18	11.37	13.56	15.75	13

Figura 9.
Resultados del análisis de los nitratos



Interpretación:

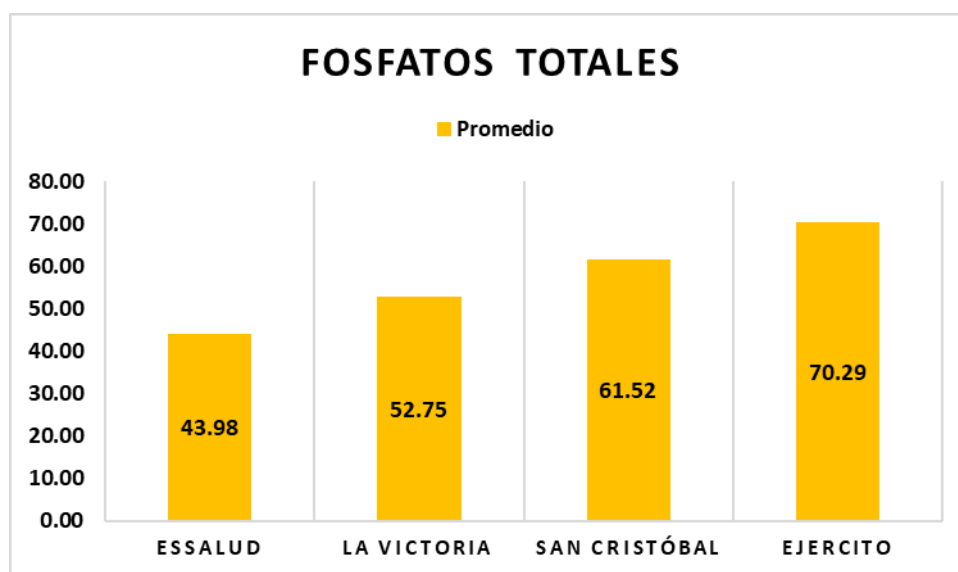
Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de los nitratos analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 9.18 mg/L, en el puente La Victoria de 11.37 mg/L, en el puente de San Cristóbal el valor de 13.56 mg/L y en el puente del Ejercito de 15.75 mg/L, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, en el sector del puente de San Cristóbal y el puente del Ejercito no cumplen con el valor establecido de menor a 13 mg/L.

Tabla 14.
Resultados del parámetro fosfatos totales

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	39.74	48.51	57.28	66.05	-
P-02	41.85	50.62	59.39	68.16	-

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-03	45.71	54.48	63.25	72.02	-
P-04	48.62	57.39	66.16	74.93	-
Prom	43.98	52.75	61.52	70.29	-

Figura 10.
Resultados del análisis de los fosfatos totales



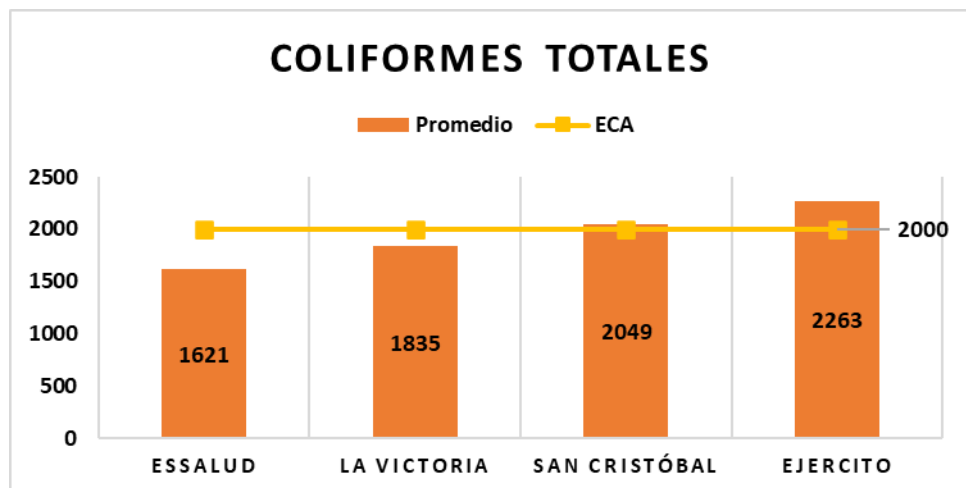
Interpretación:

Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de los fosfatos totales analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 43.98 mg/L, en el puente La Victoria de 52.75 mg/L, en el puente de San Cristóbal el valor de 61.52 mg/L y en el puente del Ejercito de 70.29 mg/L, este parámetro en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, no se contempla este parámetro evaluado.

Tabla 15.
Resultados del parámetro coliformes totales

Puntos	Essalud	La Victoria	San Cristóbal	Ejercito	ECA
P-01	1548	1762	1976	2190	2000
P-02	1611	1825	2039	2253	2000
P-03	1645	1859	2073	2287	2000
P-04	1678	1892	2106	2320	2000
Prom	1621	1835	2049	2263	2000

Figura 11.
Resultados del análisis de los coliformes totales



Interpretación:

Como se puede apreciar en la tabla y figura en el cual se presentan los principales datos obtenidos para el parámetro de los coliformes totales analizado en 4 sectores del río Ichu que son el puente EsSalud, puente La Victoria, puente San Cristóbal y puente de Ejercito en donde se identificó aguas residuales con 4 puntos de muestreo en cada uno de ellos, indicando que el valor promedio obtenido en el puente EsSalud fue de 1621 NMP/100mL, en el puente La Victoria de 1835 NMP/100mL, en el puente de San Cristóbal el valor de 2049 NMP/100mL y en el puente del Ejercito de 2263 NMP/100mL, este parámetro en comparación con los Estándares

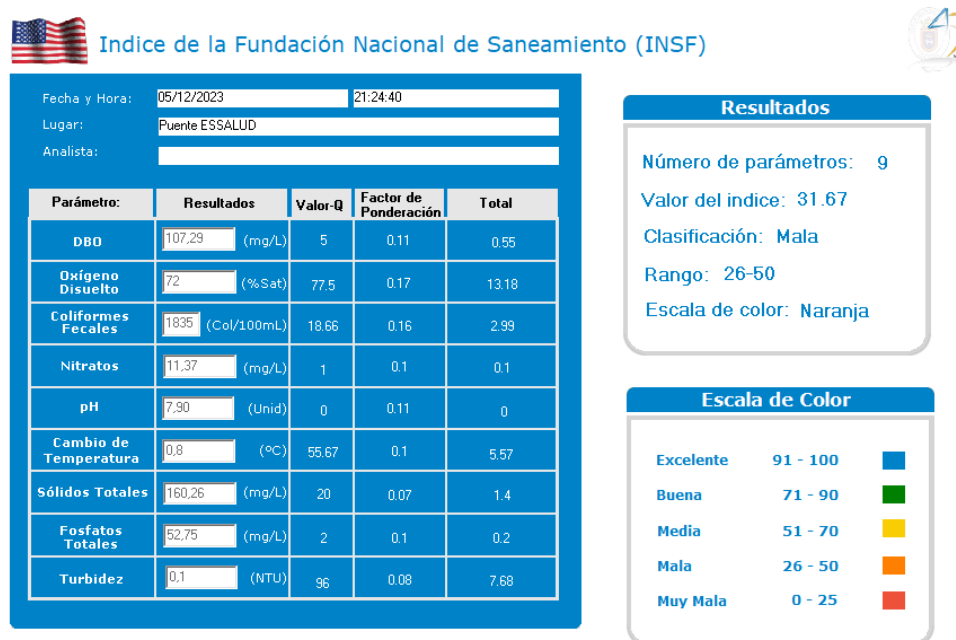
de Calidad Ambiental para Agua categoría 4 conservación del ambiente acuático, en el sector del puente de San Cristóbal y el puente del Ejercito no cumplen con el valor establecido de menor a 2000 NMP/100mL.

4.1.2. Resultados del ICA

A partir de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos necesarios para el calculo del ICA test, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 12.

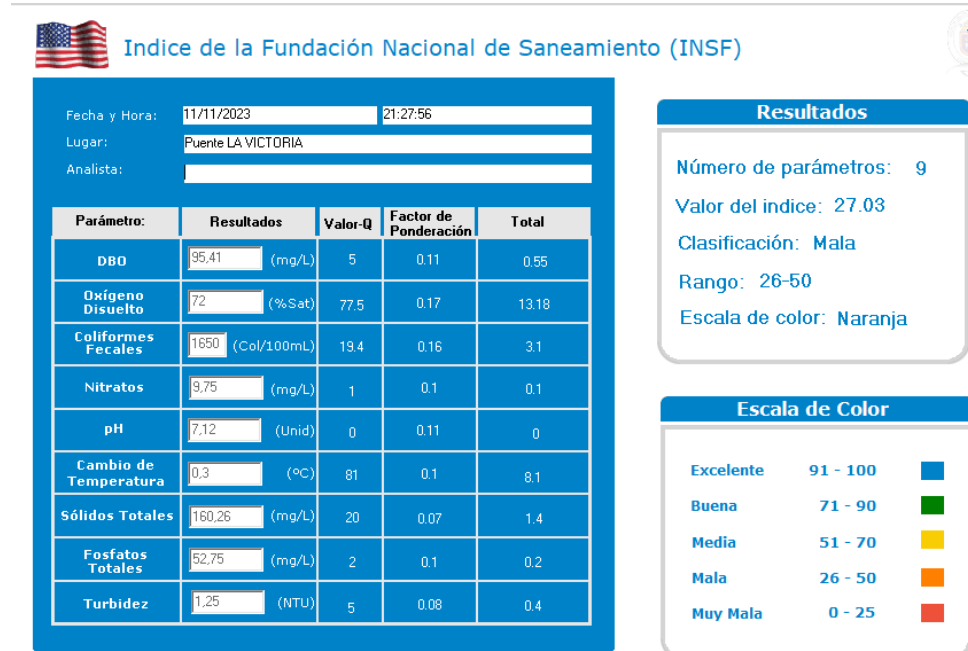
Resultados del ICA para el sector puente EsSalud



Interpretación:

Como se puede apreciar en la figura sobre los valores obtenidos del Indice de Calidad Ambiental para Agua en el sector puente EsSalud en donde se obtuvo como valor del indice de 31.67, este valor se encuentra en el rango de 26 a 50, la escala de color naranja y la clasificación del agua en mala.

Figura 13.
Resultados del ICA para el sector puente La Victoria



Interpretación:

Como se puede apreciar en la figura sobre los valores obtenidos del Índice de Calidad Ambiental para Agua en el sector puente La Victoria del río Ichu que se encuentra con vertimiento de aguas residuales, por lo que se obtuvo como valor del índice de 27.03, este valor se encuentra en el rango de 26 a 50, la escala de color naranja y la clasificación del agua en mala.

Figura 14.

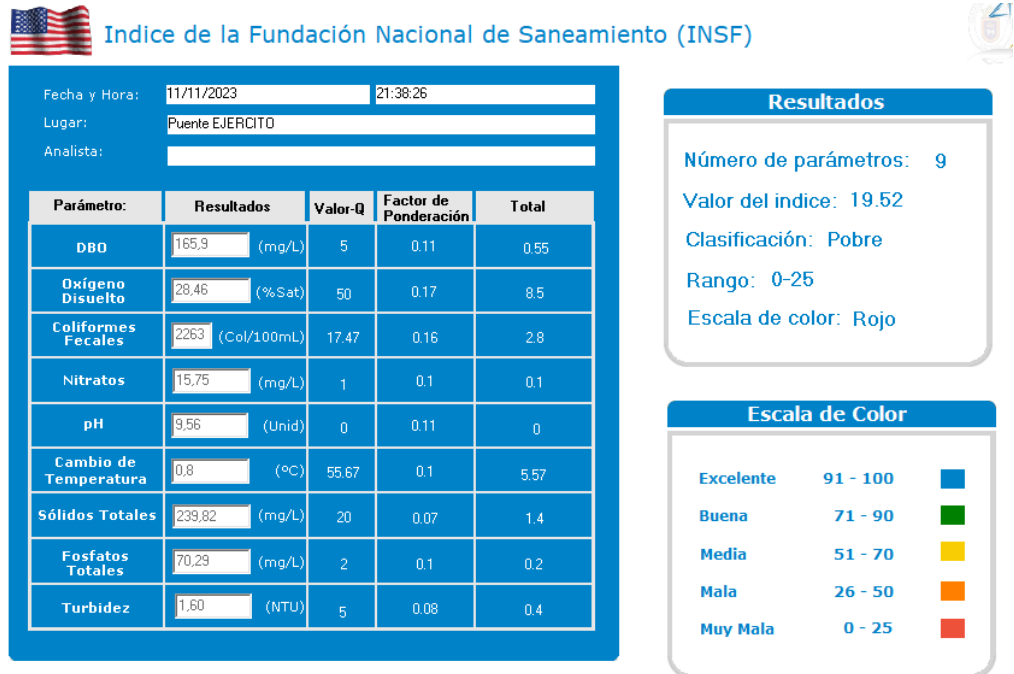
Resultados del ICA para el sector puente San Cristóbal



Interpretación:

Como se puede apreciar en la figura sobre los valores obtenidos del Índice de Calidad Ambiental para Agua en el sector puente EsSalud del río Ichu que se encuentra con vertimiento de aguas residuales, por lo que se obtuvo como valor del índice de 23.74, este valor se encuentra en el rango de 0 a 25, la escala de color rojo y la clasificación del agua en muy mala.

Figura 15.
Resultados del ICA para el sector puente Ejercito



Interpretación:

Como se puede apreciar en la figura sobre los valores obtenidos del Índice de Calidad Ambiental para Agua en el sector puente EsSalud del río Ichu que se encuentra con vertimiento de aguas residuales, por lo que se obtuvo como valor del índice de 19.52, este valor se encuentra en el rango de 0 a 25, la escala de color rojo y la clasificación del agua en muy mala.

4.2. Proceso de prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de hipótesis general

A. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis Nula (H0): La evaluación de la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de

calidad ambiental (ICA) no influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

Hipótesis Alterna (H1): La evaluación de la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

B. Nivel de significancia

Para el análisis de la prueba de normalidad donde se tiene que si la muestra es menor a 50 se emplea la prueba de Shapiro Wilk donde se tiene un nivel de confianza del 95% y el nivel de significancia de 0.05, donde dependiendo del nivel de significancia se define si la muestra es paramétrica o no paramétrica es así que se en la prueba de normalidad aplicada da un nivel de significancia de 0.211 lo cual indica que es una muestra paramétrica.

Tabla 16.

Prueba de normalidad para la hipótesis general

	Shapiro Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ICA – Ambiente acuático	,544	32	,211

C. Estadística inferencial

Para la prueba de hipótesis general se empleó la prueba T de Student ya que nuestra muestra fue paramétrica teniendo como resultado el nivel de significancia o P valor de 0.016 y T igual a -1.63 lo cual indica que es menor que el nivel de significancia por ende se concluye que se debe aceptar la hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula.

Tabla 17.
Resultados de la prueba de hipótesis general

N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
32	35.19	95.15	38.79	79.84	-1.63	0.016

D. Decisión Estadística

La decisión estadística que se optó en esta prueba de hipótesis fue la de aceptar la hipótesis alterna la cual estuvo dada por “La evaluación de la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023” por ende se rechaza la hipótesis nula que se planteó en la investigación.

E. Conclusión estadística

La conclusión estadística a la que se llegó fue que la evaluación de la calidad de agua del río Ichu por medio del Ica influye para determinar si es apto para la conservación del medio ambiente acuático, teniendo un nivel de confianza del 95%, un rango de error del 0.05, una significancia bilateral y un p valor menor al 0.05.

4.2.2. Prueba de hipótesis específica 1

A. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis Nula (H0): El nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales no influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

Hipótesis Alterna (H1): El nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas

residuales influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.

B. Nivel de significancia

Para el análisis de la prueba de normalidad donde se tiene que si la muestra es menor a 50 se emplea la prueba de Shapiro Wilk donde se tiene un nivel de confianza del 95% y el nivel de significancia de 0.05, donde dependiendo del nivel de significancia se define si la muestra es paramétrica o no paramétrica es así que se en la prueba de normalidad aplicada da un nivel de significancia de 0.124 lo cual indica que es una muestra paramétrica.

Tabla 18.
Prueba de normalidad para la hipótesis específica 1

	Shapiro Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos – Ambiente acuático	,487	32	,124

C. Estadística inferencial

Para la prueba de hipótesis específica 1 se empleó la prueba T de Student ya que nuestra muestra fue paramétrica teniendo como resultado el nivel de significancia o P valor de 0.04 y T igual a -2.06 lo cual indica que es menor que el nivel de significancia por ende se concluye que se debe aceptar la hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula.

Tabla 19.
Resultados de la prueba de hipótesis específica 1

N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
32	56.78	98.45	59.78	99.14	-2.06	0.004

D. Decisión Estadística

La decisión estadística que se optó en esta prueba de hipótesis fue la de aceptar la hipótesis alterna la cual estuvo dada por “El nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023” por ende se rechaza la hipótesis nula que se planteó en la investigación.

E. Conclusión estadística

La conclusión estadística a la que se llegó fue que la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos influye para determinar si es apto para la conservación del medio ambiente acuático, teniendo un nivel de confianza del 95%, un rango de error del 0.05, una significancia bilateral y un p valor menor al 0.05.

4.2.3. Prueba de hipótesis específica 2

A. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis Nula (H0): Los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo no influye para su conservación del ambiente acuático.

Hipótesis Alterna (H1): Los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye significativamente para su conservación del ambiente acuático.

B. Nivel de significancia

Para el análisis de la prueba de normalidad donde se tiene que si la muestra es menor a 50 se emplea la prueba de Shapiro Wilk donde se tiene un nivel de confianza del 95% y el nivel de significancia de 0.05, donde dependiendo del nivel de significancia se define si la muestra es

paramétrica o no paramétrica es así que se en la prueba de normalidad aplicada da un nivel de significancia de 0.096 lo cual indica que es una muestra paramétrica.

Tabla 20.
Prueba de normalidad para la hipótesis específica 2

	Shapiro Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ICA y ECA – Ambiente acuático	,195	32	,096

C. Estadística inferencial

Para la prueba de hipótesis específica 2 se empleó la prueba T de Student ya que nuestra muestra fue paramétrica teniendo como resultado el nivel de significancia o P valor de 0.15 y T igual a -1.91 lo cual indica que es menor que el nivel de significancia por ende se concluye que se debe aceptar la hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula.

Tabla 21.
Resultados de la prueba de hipótesis específica 2

N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
32	45.11	32.78	49.71	81.24	-1.91	0.015

D. Decisión Estadística

La decisión estadística que se optó en esta prueba de hipótesis fue la de aceptar la hipótesis alterna la cual estuvo dada por “Los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye

significativamente para su conservación del ambiente acuático” por ende se rechaza la hipótesis nula que se planteó en la investigación.

E. Conclusión estadística

La conclusión estadística a la que se llegó fue que la comparación del Ica y los ECA influye para determinar si es apto para la conservación del medio ambiente acuático, teniendo un nivel de confianza del 95%, un rango de error del 0.05, una significancia bilateral y un p valor menor al 0.05.

4.3. Discusión de resultados

En la presente investigación se tuvo como fin esencial Evaluar la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023, para lo cual se obtuvo que el índice de Calidad Ambiental (ICA) se encuentra entre 19.52 a 31.67, evidenciando que la calidad de agua es de mala a muy mala, al respecto se puede citar a Puerta (2019), quien tuvo el objetivo de determinar la influencia de la descarga del río Mayo, en la calidad de agua del río Huallaga, obteniendo el pH que varía 6.6 y 7.88, la temperatura del agua que tuvo valores de 24.5°C a 26.4°C, así mismo la conductividad eléctrica fue de 232 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 312 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de la misma manera el Oxígeno Disuelto obtuvo valores que varían de 6.28 mg/L y 7.04 mg/L, la Demanda Bioquímica de Oxígeno obtuvo valores menores a 2.60 mg/l finalmente los Coliformes termotolerantes fueron de 130 NMP/100ml y 16000 NMP/100ml; finalmente para el cálculo el ICA-Pese obtuvo una calidad regular con un valor de 71.84 finalmente concluye que la metodología aplicada indico que el rio evaluado obtuvo una calidad regular en relación a los parámetros evaluados, pero en cada tiempo la calidad de agua es amenazada, así mismo Pérez (2017), en su investigación donde tuvo como fin primordial determinar el índice de calidad de agua del rio Moquegua

por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo, durante el periodo 2014 – 2015. Obteniendo que los monitoreos realizados en los años 2014 y 2015 antes y después del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, superan los estándares de calidad ambiental con la categoría 3, en los parámetros de pH, fosfatos, DBO5, OD y coliformes termotolerantes, mientras que los demás parámetros evaluados se encuentran dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, al respecto se puede detallar que el vertimiento de las aguas residuales si influyen en la calidad del agua del cuerpo receptor tal como lo pudieron evidenciar en los antecedentes citados, pero también es necesario realizar una evaluación exhaustiva y realizar la comparación con los estándares de calidad ambiental para tener una mejor referencia de como se encuentra el río y que uso nacional se le puede dar.

Conclusiones

- ☒ Es evidente la correlación entre las características fisicoquímicas y bacteriológicas del río Santa del río Ichu y la descarga de aguas residuales domésticas en el sector de Huancavelica. Parámetros como Coliformes Fecales (CF), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Sólidos Totales (ST), Nitratos (NITR) y Temperatura (T) muestran una relación directa con el Índice de Calidad del Agua (ICA) en comparación con la Norma de Calidad Ambiental (NCA). Estos parámetros son cruciales para el mantenimiento de la calidad del agua y la conservación del medio acuático en el sector Huancavelica. Los valores del NCA oscilan entre 19.52 y 31.67 para los puntos de muestreo realizados durante el año hidrológico 2023.
- ☒ La evaluación de la calidad del agua del río Ichu utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA) se basa en el análisis de las propiedades físicas y químicas de las aguas residuales domésticas vertidas desde Huancavelica. Este análisis, que considera tanto las características fisicoquímicas como bacteriológicas, determina el nivel del estado ambiental actual del río. La calidad de los vertidos en la zona se clasifica como mala, situándose por debajo del umbral establecido por la normativa ECA para la preservación del medio acuático.
- ☒ La aplicación del ICA permite evaluar la calidad actual de las aguas del río Ichu y determinar el nivel de tratamiento necesario para que los vertidos de aguas residuales domésticas cumplan los estándares de calidad deseados fijados por el método y los parámetros normativos del ECA.

Recomendaciones

- ☒ Se recomienda realizar un examen exhaustivo de los valores del Índice de Calidad del Aire (ICA) en diversos periodos de tiempo en toda la ciudad de Huancavelica revela que las aguas residuales domésticas son vertidas sin ningún tratamiento en todas las localidades de esta jurisdicción. En consecuencia, estas aguas sin tratamiento dificultan su propio proceso de depuración a lo largo de su curso y desarrollo.
- ☒ Realizar un estudio integral utilizando tecnologías consistentes de calidad de agua en toda la extensión del río Ichu. El río está contaminado por vertidos de diversas actividades industriales y pasivos ambientales mineros. El objetivo del estudio es evaluar el alcance de la contaminación y permitir a las entidades responsables aplicar las medidas de control adecuadas.
- ☒ Se realiza un estudio para el sector utilizando la Metodología ICA-PE de la ANA (R.J. N° 068 -2018-ANA) para evaluar el nivel de contaminación global del río Ichu, teniendo en cuenta el caudal del cuerpo receptor.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, J. (2019). *Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Alarcón, J. (2019). *Aplicación de métodos de índices de calidad de agua (ICA) en el río Rímac*. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Lima.
- ANA. (2009). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú (ICA.PE)*.
- Aréstegui, Y. (2019). *Determinación del índice de calidad de agua en cinco cochas del Parque Nacional del Manu*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Metodología para la determinación del Índice de calidad de agua ICA - Pe, aplicando a los cuerpos de agua continentales superficiales*. Lima.
- Aveiga, A., Noles, P., De la Cruz, A., Peñarrieta, F., & Alcantara, F. (Septiembre de 2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrzal en Manabí. *scielo*, 10(3).
- Avila, H. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación*. Chihuahua - Mexico.
- Balmaseda, C., & García, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia las Tunas, Cuba. *scielo*, 11-16.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: PEARSON.

- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo - Perú.
- Botia, W. (2005). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos*. Bogotá: Nueva Granada.
- Briones, G. (2002). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Colombia: ARFO.
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción Limpia*.
- Cajas, M. (2020). *Determinación del índice de calidad del agua del manantial del Centro Poblado de Cochatama - Huánuco - 2019*. Huánuco: Universidad de Huánuco.
- Carhuasuica, Y., & Gonzales, S. (2022). *Índice de calidad de agua, aplicando el ICARHS en el río Vilcanota en el tramo Paclamayo - Pucruto, distrito de Urubamba - Cusco - 2021*. Cusco - Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Delgado, F. (2019). *Diagnóstico de la calidad del agua y diseño de propuesta de solución para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA) en el río Colca*. Tesis para obtención de grado académico de Maestro, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Unidad de posgrado de la facultad de ciencias naturales y formales , Arequipa.
- Domus Consultoria Ambiental . (s.f). *Descripción y evaluación de impactos* .
- Espinoza, F. (2020). *Evaluación mediante el índice de calidad de agua (ica) del río santa con vertimientos de aguas servidas domésticas, para la conservación del ambiente acuático. sector Huaraz-Jangas, Ancash 2019*. Lima: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Galarza, E. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio Modulo 3: Agua y Alimento* . Lima: Ministerio del Ambiente.

- Hernández, F., Nolasco, E., & Salguero, M. (2016). *Determinación del índice de calidad del agua NSF y modelación del cromo hexavalente en la parte alta del río Suquipata, Santa Ana, El Salvador*. Tesis, Universidad de El Salvador, Facultad de ingeniería química e ingeniería de alimentos, Salvador.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A.
- Jimenez, J., & Llico, M. (2020). *Evaluación de la calidad del agua en el río Muyoc, aplicando el índice de calidad ambiental para agua, Cajamarca 2019*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Lerma, H. (2012). *Metodología de la investigación*. ECOE Ediciones.
- Liebman, H. (1969). *Atlas of water quality: methods and practical conditions*. Munich. Idenborough.
- Mendoza, M. (1996). Impacto de la tierra, en la calidad del agua en la cuenca del río San Juan Turrialba. 81.
- Meybeck, M., & Helmer, R. (1996). *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Chapman & Hall.
- Meza, V. (2016). *Calidad del Recurso Hídrico de la Subcuenca del río Lampa - Huancayo*. Huancayo.
- Ministerio de agricultura. (2018). *Índice de calidad de agua mediante el método ICA Pe*. Obtenido de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>

- Monteuardo, M. (2015). *Análisis comparativo de los índices de calidad de agua y los ríos Lampa y Cabanillas*. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Puno.
- Mora, D., Orozco, J., Solis, Y., Rivera, P., Cambronero, D., Zuñiga, L., & García, J. (2018). Índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano en Costa Rica (IRCACH). 3-14.
- Mora, R., & Tamay, A. (2022). *Determinación del índice de calidad de agua mediante monitoreo de macro invertebrados, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el río Sinichay, Cuenca - Ecuador*. Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, J. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo, durante el periodo 2014 – 2015*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Pérez, N. (2017). *Simulación matemática de la interacción entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el oxígeno disuelto (OD) en el río Chili con el método de los elementos finitos*. Arequipa.
- Puerta, C. (2019). *Determinación de la influencia de la descarga del río Mayo en la calidad de agua del río Huallaga, a través de los ICA-PE*. Tesis, Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, Facultad de ecología, Moyobamba.
- Ramirez, H. (2014). *Determinación de los niveles de contaminación del agua por la disposición final de residuos sólidos generados en la ciudad de Moyobamba - 2014*. Moyobamba - San Martín.
- Salazar, H. (2013). *Metodología de la investigación*.
- Silvestre, N. (2022). *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua de los ríos Ichu, Escalera, Opamayo y Mantario durante el periodo 2017 - 2019*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.

Uriburu, L. (2018). *Determinación del índice de calidad de agua de consumo humano, del centro poblado de agua fresca, Distrito de Chontabamba-2018*. Tesis, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion , Facultad de ingeniería , Cerro de Pasco.

Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima - Perú: San Marcos.

Yáñez, S. (2018). *Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluentes del lago San Pablo, provincia de imbadura*. Quito.

Anexos

Anexo 1
Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿Cómo la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023?</p> <p>☐</p> <p>Problemas Específicos: ¿Cómo el nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023?</p> <p>☐</p> <p>¿Cómo los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye para su conservación del ambiente acuático?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.</p> <p>☐</p> <p>Objetivos Específicos: Identificar el nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.</p> <p>☐</p> <p>Identificar los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye para su conservación del ambiente acuático.</p>	<p>Hipótesis General: La evaluación de la calidad de agua del río Ichu con vertimiento de aguas residuales determinado mediante el índice de calidad ambiental (ICA) influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.</p> <p>☐</p> <p>Hipótesis Específicas: El nivel de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Ichu con vertimiento de aguas residuales influye significativamente en la conservación del ambiente acuático, Huancavelica – 2023.</p> <p>☐</p> <p>Los resultados del ICA del río Ichu con vertimientos de las aguas servidas domésticas en los puntos de muestreo en función del ECA normativo influye significativamente para su conservación del ambiente acuático.</p>	<p>Variables Independiente: Calidad de agua</p> <p>Variable Dependiente: Conservación del ambiente acuático</p>	<p>Tipo de Investigación: Investigación aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Investigación explicativa.</p> <p>Método General: Método científico</p> <p>Diseño: Diseño no experimental</p>	<p>Población: Recorrido del Río Ichu, desde el camal municipal hasta el puente santa rosa.</p> <p>Muestra: 16 puntos de muestreo ubicados en el Río Ichu.</p> <p>Muestreo: Muestreo no probabilístico por conveniencia</p>	<p>Técnicas: Observación</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación Trabajo de campo y gabinete</p>

Anexo 2
Base de Datos

Parámetros fisicoquímicos puente essalud									
Puntos	Turbiedad	Ph	Temperatura	DBO	OD	Solidos totales	Nitratos	Fosfatos	Coliformes totales
P-01	1.17	6.95	12.80	74.18	95.78	114.89	8.95	39.74	1548
P-02	1.24	6.99	12.60	78.19	89.12	119.85	9.14	41.85	1611
P-03	1.31	7.06	12.90	79.11	99.11	121.47	9.28	45.71	1645
P-04	1.44	7.11	13.10	82.09	91.06	125.71	9.36	48.62	1678
Prom	1.29	7.03	12.85	78.39	93.77	120.48	9.18	43.98	1621

Parámetros fisicoquímicos puente la victoria									
Puntos	Turbiedad	Ph	Temperatura	DBO	OD	Solidos totales	Nitratos	Fosfatos	Coliformes totales
P-01	2.74	7.82	14.5	103.08	74.01	154.67	11.140	48.51	1762
P-02	2.81	7.86	14.3	107.09	67.35	159.63	11.330	50.62	1825
P-03	2.88	7.93	14.6	108.01	77.34	161.25	11.470	54.48	1859
P-04	3.01	7.98	14.8	110.99	69.29	165.49	11.550	57.39	1892
Prom	2.86	7.90	14.55	107.29	72.00	160.26	11.373	52.75	1834.50

Parámetros fisicoquímicos puente San Cristóbal									
Puntos	Turbiedad	Ph	Temperatura	DBO	OD	Solidos totales	Nitratos	Fosfatos	Coliformes totales
P-01	5.88	8.69	16.2	131.98	52.24	194.45	13.330	57.28	1976
P-02	5.95	8.73	16	135.99	45.58	199.41	13.520	59.39	2039
P-03	6.02	8.8	16.3	136.91	55.57	201.03	13.660	63.25	2073
P-04	6.15	8.85	16.5	139.89	47.52	205.27	13.740	66.16	2106
Prom	6.00	8.77	16.25	136.19	50.23	200.04	13.563	61.52	2048.50

Parámetros fisicoquímicos puente ejercito									
Puntos	Turbiedad	Ph	Temperatura	DBO	OD	Solidos totales	Nitratos	Fosfatos	Coliformes totales
P-01	2.26	9.56	17.9	160.88	30.47	234.23	15.520	66.05	2190
P-02	2.21	9.6	17.7	164.89	23.81	239.19	15.710	68.16	2253
P-03	2.45	9.67	18	165.81	33.8	240.81	15.850	72.02	2287
P-04	2.15	9.72	18.2	168.79	25.75	245.05	15.930	74.93	2320
Prom	2.27	9.64	17.95	165.09	28.46	239.82	15.753	70.29	2262.50