UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Tesis

Evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación del ICA-PE en la microcuenca Ccatccamayo, distrito de Ccatcca, provincia de Quispicanchi, departamento Cusco

Asesor:

Mag. Condori Cahuapaza, José Noel

Autor:

Fernandez Abiles, Linabel

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Ambiental

Cusco - Cusco - Perú

2026

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Acta N°: 019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 14 días del mes de octubre del 2026, siendo las 10:40 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 029-2026-UTEA-FC-EPIARN de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente	:	Dra. Farfan Rodriguez Jessika
Dictaminante	:	Mg. Mattos Yallico Cesar Antonio
Replicante	:	Mg. Mollo Varillas Valex Raúl

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: Evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación del ICA-PE en la microcuenca Ccatccamayo, distrito de Ccatcca, provincia de Quispicanchi, departamento Cusco

Desarrollado por la Bachiller:

Br.: Fernandez Abiles Linabel

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Tituló Profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que la mencionada bachiller fue APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Nota	Detalle (**)
Br. Fernandez Abiles Linabel	13	Aprobado

Siendo las 10:55 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dra. Farfan Rodriguez Jessika
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Dictaminante: Mg. Mattos Yallico Cesar Antonio
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Replicante: Mg. Mollo Varillas Valex Raúl
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Nota: Desaprobado: 0-10; **Aprobado:** 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

15% Fuentes de Internet
11% Publicaciones
15% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Fernandez Abiles, Linabel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	71121386
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0001-1330-4535
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mag. Condori Cahuapaza, José Noel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	47990304
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-6194-2091
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en el que se realizó la investigación	:	Noviembre 2025 - septiembre 2026
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	20%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

A Dios, por otorgarme salud y sabiduría necesaria para culminar este camino. Su guía divina fue mi brújula en momentos de incertidumbre.

A mis padres, Alberto Fernández y Blanca Abiles Por ser el pilar inquebrantable de mi vida, por sus sacrificios diarios y por enseñarme que con esfuerzo no hay meta inalcanzable.

A mi compañero de vida Michael Tunquipa, por ser mi refugio en los momentos de estrés, por tus palabras de aliento y por compartir este sueño desde el primer día.

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a Dios, ser divino, por guiar, mis pasos día a día.

Agradezco principalmente al Mg. José Noel Condori Cahuapaza, por creer en este proyecto desde el primer día y guiarme con su experiencia, quien estaba presto a despejar dudas y por el tiempo dedicado.

Resumen

El estudio se enfocó en analizar la problemática relacionada con la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, con el propósito de evaluar su calidad mediante la aplicación del Índice de calidad de agua de Perú (ICA-PE), considerando parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos. El estudio presentó un enfoque cuantitativo, de tipo básico, nivel descriptivo y diseño no experimental. Se tomaron muestras de agua en tres tramos de la microcuenca y se efectuó el análisis bajo la metodología del ICA-PE, considerando los 17 parámetros correspondientes a la categoría 3, subcategorías D1 y D2, establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM y la R.J. N.° 068-2018-ANA. Los resultados evidenciaron que los valores de los parámetros evaluados en los tres tramos están dentro de los ECA -Agua. Sin embargo, al aplicar la metodología del ICA-PE, se obtuvieron valores entre 42.75 y 43.39 para la ECA categoría 3-D1, calificando la calidad del agua como “mala”. Asimismo, para la ECA categoría 3-D2, los valores oscilaron entre 42.36 y 42.59, obteniendo igualmente una calificación de calidad de agua “mala”.

Palabras claves: Índice de calidad de agua de Perú ICA-PE, parámetros físicos, químicos, inorgánicos, microbiológico.

Abstract

This research addressed the water quality problem in the Ccatccamayo micro-basin and aimed to evaluate its quality using the Peruvian Water Quality Index (ICA-PE), considering physical, chemical, inorganic, and microbiological parameters. The study employed a quantitative approach, was basic in nature, descriptive in level, and used a non-experimental design. Water samples were collected at three points along the micro-basin and analyzed using the ICA-PE methodology, considering the 17 parameters corresponding to Category 3, subcategories D1 and D2, established in Supreme Decree No. 004-2017-MINAM and Ministerial Resolution No. 068-2018-ANA. The results showed that the values of the evaluated parameters in the three sections were within the Environmental Quality Standards for Water (ECA-Agua). However, when applying the ICA-PE methodology, values between 42.75 and 43.39 were obtained for ECA category 3-D1, classifying the water quality as “poor.” Similarly, for ECA category 3-D2, the values ranged between 42.36 and 42.59, also resulting in a “poor” water quality rating.

Keywords: Water Quality Index of Peru ICA-PE, physical, chemical, inorganic, and microbiological parameters.

Índice general

Portada ……..……..i

Acta de sustentación ii

Reporte de Similitud iii

Metadatos..... iv

Dedicatoria v

Agradecimiento..... vi

Resumen vii

Abstract viii

Índice general ix

Índice de tablas xi

Índice de figuras xiv

Índice de anexos xv

I. Introducción 16

II. Planteamiento del problema 19

2.1 Descripción y formulación del problema 19

2.2. Objetivos 21

2.2.1 Objetivo General..... 21

2.2.2 Objetivos Específicos 21

2.3. Justificación e importancia 22

2.4 Hipótesis 24

2.5 Variables 25

III. Marco Teórico 28

3.1. Antecedentes 28

3.2. Bases teóricas..... 33

3.3 Definición de términos..... 44

IV. Metodología 47

4.1 Tipo y nivel de investigación 47

4.2 Ámbito temporal y espacial 48

4.3 Población y muestra..... 52

4.4 Instrumentos 54

4.5 Procedimientos 56

4.6 Análisis de datos 60

4.7 Consideraciones éticas 61

V. Resultados y Discusión 62

VI. Conclusiones..... 101

VII. Recomendaciones..... 103

VIII. Referencias..... 104

IX. Anexos 109

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de Variables 26

Tabla 2 Parámetros considerados en la Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales. 40

Tabla 3 Interpretación de la calificación ICA-PE 44

Tabla 4 Ubicación geográfica del Distrito de Ccatcca. 49

Tabla 5 Límites del Distrito de Ccatcca 50

Tabla 6 Ubicación de la Microcuenca Ccatccamayo 50

Tabla 7 Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales. 53

Tabla 8 Métodos y Normas de Rferencia - Analytical Laboratory E.I.R.L. 55

Tabla 9 Resultados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la Microcuenca Ccatccamayo - Muestra 0 1- C.C. Ccopi. 62

Tabla 10 Resultados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la Microcuenca Ccatccamayo - Muestra 02- C.P. Qollana Ccatccapampa. 64

Tabla 11 Resultados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la Microcuenca Ccatccamayo - Muestra 03- C.C. Sacsayhuaman. 65

Tabla 12 Comparación de los resultados obtenidos del laboratorio con los ECA-A Categoría 3 con sus subcategorías D1 y D2 67

Tabla 13 Hoja de cálculo Excel: para el cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoria 3- subcategoría D1. 69

Tabla 14 Cálculo del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1. .. 71

Tabla 15 Cálculo del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1. .. 72

Tabla 16 Cálculo del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1.. 72

Tabla 17 Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1. 73

Tabla 18 Hoja de cálculo Excel: para el cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoria 3- subcategoría D2. 74

Tabla 19 Determinación del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2..... 76

Tabla 20 Determinación del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2..... 76

Tabla 21 Determinación del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2..... 77

Tabla 22 Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2. 78

Tabla 23 Interpretación de la Calificación ICA-PE 78

Tabla 24 Monitoreo y calificación de la calidad de agua de cada muestra de agua de la microcuenca Ccatccamayo según el ICA-PE 79

Tabla 25 Cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de toda la microcuenca Ccatccamayo. 82

Tabla 26 Determinación del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo. 84

Tabla 27 Cálculo del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo..... 85

Tabla 28 Cálculo del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo..... 86

Tabla 29 Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo. 86

Tabla 30 Cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoria 3- subcategoría D2 de la microcuenca Ccatccamayo. 88

Tabla 31 Cálculo del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo..... 90

Tabla 32 Determinación del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo. 91

Tabla 33 Cálculo del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo..... 92

Tabla 34 Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo. 92

Tabla 35 Monitoreo y calificación de la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo según el ICA-PE 93

Tabla 36 Regla de decisión ANOVA..... 94

Tabla 37 Resumen de contrastación de la hipótesis específica 1, para la Cat. 3 D1(ANOVA) 95

Tabla 38 Resumen de contrastación de la hipótesis específica 1, para la Cat. 3 D2 (ANOVA)..... 95

Tabla 39 *Resumen de contrastación de la hipótesis específica 2 (ANOVA)* 96

Tabla 40 Resumen de contrastación de la hipótesis general (ANOVA) 97

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación geográfica del Distrito de Ccatcca. 49

Figura 2 Zona de estudio Microcuenca Ccatccamayo 51

Figura 3 Fases para la evaluación de la Calidad de Agua de la Microcuenca Ccatccamayo..... 57

Figura 4 Calificación de la calidad de agua en los tres tramos de la microcuenca Ccatccamayo..... 80

Figura 5 Representación Gráfica del ICA-PE de la microcuenca Ccatccamayo.. 81

Figura 6 Calificación de la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo 93

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia 110

Anexo 2 Operacionalización de variables 112

Anexo 3 Cadena de custodia del laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. 113

Anexo 4 Resultados de laboratorio realizados por Analytical Laboratory E.I.R.L. 114

Anexo 5 Certificados de calibración de los equipos utilizados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. 121

Anexo 6 Registro fotográfico 134

I. Introducción

El agua es un recurso natural fundamental para la vida, ya que su calidad es importante para mantener el equilibrio de los ecosistemas, proteger la salud de las personas y garantizar el bienestar de la población. La calidad del agua está determinada de acuerdo con el uso al que será destinada. Actualmente, en el Perú, el crecimiento demográfico y el incremento de actividades productivas e industriales relacionadas con los sectores minero-energético, hidrocarburos, agricultura, pesca y saneamiento, entre otros, han contribuido significativamente al deterioro de la calidad de los recursos hídricos a nivel nacional. Esta problemática se ve intensificada por los efectos del cambio climático. Asimismo, las alteraciones en las propiedades físicas y químicas del agua, especialmente en los parámetros inorgánicos, no solo dependen de las actividades humanas, sino también de los procesos naturales y la erosión natural (ANA, 2018)

La microcuenca Ccatccamayo no es ajena a esta problemática, debido a que sus recursos hídricos son utilizados para actividades agrícolas, pecuarias y otros usos poblacionales de sus comunidades campesinas, los cuales podrían generar alteraciones en las características naturales del agua. Por ello, resulta necesario evaluar su calidad mediante metodologías estandarizadas que permitan identificar el estado actual del recurso hídrico y verificar si los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), conforme a lo dispuesto en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

Por esta razón, la metodología para el cálculo del Índice de Calidad de Agua, tiene como propósito determinar y expresar el estado o condición de la calidad del

agua mediante rangos previamente establecidos, utilizando un método sencillo, preciso y válido. Este índice se basa en los resultados obtenidos del análisis de muestras de agua recolectadas en cuerpos hídricos, como ríos, cursos de agua o cuencas del territorio nacional (ANA, 2018). La aplicación de esta proporciona una información importante para comprender las problemáticas relacionadas con su calidad para proteger la salud el bienestar poblacional.

El propósito central de esta investigación consistió en analizar las condiciones de calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo mediante la aplicación del ICA-PE. La investigación se ejecutó al realizar el análisis de resultados de laboratorio de las muestras de agua, tomadas de la microcuenca Ccatccamayo, considerando los 17 parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos correspondientes a la Cat. 3, sub categorías D1 y D2, tomando como referencia los criterios y disposiciones señalados en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM y la Resolución Jefatural N.° 068-2018-ANA. Se realizó bajo una metodología de cuatro fases: la primera, el reconocimiento del área de estudio, la segunda, toma de muestras, la tercera, análisis de muestras y la cuarta, la comparación de resultados con los ECA-A cat. 3 - específicamente las subcategorías D1, destinada al riego de vegetales, D2, relacionada con el consumo de agua por los animales y la aplicación de la metodología ICA-PE.

El estudio presentó ciertas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Entre ellas, la ausencia de antecedentes locales sobre la calidad de agua sobre la microcuenca Ccatccamayo, ya que solo se encontró estudios en el contexto peruano, lo que dificultó realizar comparaciones amplias con estudios

previos. Asimismo, no se dispuso de una línea base local que permitiera contrastar tendencias o variaciones en los parámetros analizados.

Los resultados de esta investigación permitirán determinar las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua en la microcuenca Ccatccamayo y aportar información técnica relevante para futuras acciones de monitoreo, conservación y gestión ambiental del recurso hídrico.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

Las microcuencas cumplen un papel esencial como espacios naturales que almacenan y regulan el agua, ya que contribuyen al suministro de ríos de mayor tamaño y al equilibrio del ciclo hidrológico. El recurso hídrico que contienen, permite el crecimiento de la vegetación natural, la conservación de la diversidad biológica, el abastecimiento de agua para las actividades productivas y consumo humano. Según Fernandez (2012), confirma que, sería conveniente aprovechar el recurso hídrico de manera sostenible, debido a que nuestros antepasados no hicieron un buen uso del recurso sin pensar en las futuras generaciones.

La contaminación del agua en el mundo es relacionada con el crecimiento poblacional, industrial, progreso económico y agrícola sumando a esta el inadecuado manejo de las aguas residuales (ONU, 2016). Tal como expresa Díaz (2024), existen diversos estudios realizados en microcuencas en el Perú, que han reportado la presencia de contaminantes que exceden los ECA para agua, así como variaciones en indicadores biológicos que reflejan procesos de degradación ambiental. Actualmente la microcuenca Ccatccamayo constituye un espacio de gran importancia para las actividades agrícolas y ganaderas. Sin embargo, el desarrollo de estas actividades productivas se realiza, en gran medida, sin una adecuada gestión ambiental, lo que genera presiones sobre la calidad del agua del cuerpo hídrico.

El uso intensivo de fertilizantes, plaguicidas y residuos orgánicos provenientes de la ganadería, así como la descarga de aguas residuales provenientes de los hogares y el manejo inadecuado de los residuos sólidos,

contribuyen al deterioro progresivo del recurso hídrico. Esta situación puede ocasionar la alteración de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, afectando no solo a los ecosistemas acuáticos, sino también a la salud de la población y a la sostenibilidad de las actividades productivas locales.

Ante este panorama de la microcuenca Ccatccamayo, existe una limitada información técnica y científica sobre el estado actual de la calidad de su agua, lo que dificulta la toma de decisiones y la puesta en práctica de medidas orientadas al uso responsable, la protección y la conservación del agua. Por ello, el interés por realizar esta investigación nace ante la escasa evidencia sobre el estado situacional de la calidad del agua y determinar su grado de afectación.

La investigación constituye un aporte significativo para enfrentar esta problemática, al proponer una evaluación minuciosa sobre las condiciones del agua en la microcuenca Ccatccamayo y la aplicación del Índice de Calidad del Agua aplicado en el Perú (ICA-PE). Los resultados sirven como base técnica para respaldar la adopción de decisiones y planificación de medidas orientadas a la conservación del recurso hídrico de la microcuenca.

2.1.1 Problema general

¿Cuál es la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, determinada mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua de Perú (ICA-PE)?

2.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos utilizados para el cálculo del ICA-PE en la microcuenca Ccatccamayo?

- ¿Cuál es el valor del ICA-PE obtenido en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo?
- ¿Cómo se clasifica la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo según la calificacion del ICA-PE?
- ¿Qué tramos de la microcuenca Ccatccamayo presentan mayor o menor calidad del agua de acuerdo con el ICA-PE?

2.2. Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua de Perú (ICA-PE)

2.2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos necesarios para el cálculo del ICA-PE en la microcuenca Ccatccamayo.
2. Calcular el valor del ICA-PE en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo.
3. Clasificar la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo según la calificación establecidas por el ICA-PE.
4. Identificar los tramos de la microcuenca Ccatccamayo con mejor y peor calidad del agua de acuerdo con los resultados del ICA-PE.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1 Justificación de la investigación

2.3.1.1 Justificación teórica

Se justifica teóricamente porque generó conocimiento y evidencia científica sobre la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo mediante mediante el Índice de Calidad del Agua del Perú (ICA-PE). La importancia del estudio radica que disponer calidad de agua es fundamental para la conservación ambiental y la salud para un desarrollo sostenible en las actividades agrícolas y pecuarias de las comunidades campesinas del distrito de Ccatcca.

Asimismo, la investigación se fundamenta en la necesidad de comprender el comportamiento de los parámetros de calidad del agua y su relación con los ECA-Agua establecidos en la normativa peruana D.S. N.°004-2017-MINAM y la R. J. N.°068-2018-ANA. En muchas microcuencas rurales existe limitada información técnica y científica sobre el estado real de sus recursos hídricos, como fue el caso de la microcuenca Ccatccamayo, lo que dificulta la adecuada gestión y protección del agua. Por ello, esta investigación aporta información confiable y actualizada que puede servir como antecedente para futuras investigaciones relacionadas con monitoreo ambiental y gestión de recursos hídricos.

2.3.1.2 Justificación práctica

Se justifica de manera práctica porque permitió conocer el estado real de la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo. Aunque los parámetros evaluados cumplen con los ECA-Agua, los resultados del ICA-PE calificaron el agua como “mala”, evidenciando la necesidad de implementar acciones de monitoreo,

control y conservación del recurso hídrico para evitar mayores niveles de contaminación.

2.3.1.3 Justificación metodológica

Se justifica metodológicamente porque aplicó el procedimiento establecido por el Índice de Calidad del Agua del Perú (ICA-PE), utilizando 17 parámetros establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM y la R.J. N.° 068-2018-ANA en la Cat. 3 D1 y D2. Esto permitió obtener resultados confiables y comparables, que pueden servir como referencia para futuras evaluaciones de calidad de agua en microcuencas similares.

2.3.1.4 Justificación social

La investigación se justifica socialmente porque la calidad del agua influye directamente en las actividades agrícolas, pecuarias y en el bienestar de la población que utiliza el recurso hídrico de la microcuenca Ccatccamayo. Los resultados obtenidos contribuirán a generar conciencia sobre la importancia de proteger y conservar las fuentes de agua para beneficio de las comunidades campesinas y del ambiente. Asimismo, permitirá a las autoridades locales y a las comunidades campesinas tomar decisiones para garantizar agua segura y salvaguardar la salud de la población, fomentando el bienestar y el desarrollo sostenible de la microcuenca Ccatccamayo.

2.3.2 Importancia de la investigación

La investigación de esta investigación es pertinente porque aborda información actualizada sobre la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, y se fundamenta en el aporte con el conocimiento teórico y contribuir a disminuir la

escasez de información disponible sobre las condiciones de calidad del agua de la microcuenca, como consecuencia de la falta de estudios enfocados en la problemática local relacionada con la contaminación del mismo; contribución realizada mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos inorgánicos y microbiológicos de las aguas de la microcuenca Ccatccamayo, empleando el instrumento estandarizado a nivel nacional, como los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

La información generada a partir de este estudio proporciona evidencia científica que puede servir de sustento para el proceso de decisión de las autoridades correspondientes en la gestión de los recursos hídricos. En este sentido, se recomienda la formulación e implementación de planes y programas de manejo, control y tratamiento del recurso, con el propósito de minimizar los riesgos sanitarios vinculados al uso del agua y contribuir a la protección y conservación del ecosistema asociado.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

La calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, evaluada mediante el ICA-PE, no presenta diferencias en los puntos de muestreo, clasificándose en una sola categoría.

2.4.2 Hipótesis Especificas

1. Los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos evaluados en la microcuenca Ccatccamayo cumplen

con los valores establecidos en los ECA-Agua correspondientes a la categoría y subcategoría asignada al cuerpo de agua.

2. No existen diferencias relevantes entre los valores del ICA-PE obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo.
3. No aplica.
4. No aplica.

2.5 Variables

2.5.1. Variable 1:

Calidad de agua.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable 1: Calidad del agua.	La calidad del agua se determinó a partir del análisis de diferentes parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos. Los resultados obtenidos se compararon con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), teniendo en cuenta la categoría correspondiente al cuerpo de agua superficial estudiado. Este proceso permite determinar si se cumple o no con dichos estándares, identificando únicamente los parámetros críticos y sus concentraciones respectivas (ANA, 2018). Para analizar la calidad del agua en la microcuenca, se utilizó la metodología del ICA-PE.	- Parámetros físicos-químicos. - Parámetros inorgánicos. - Parámetros microbiológicos - Valor numérico que permite valorar las condiciones del agua en ríos, lagos y otros cuerpos de agua superficiales continentales.	- Se recolectó muestras de agua de la microcuenca Ccatccamayo, posteriormente fueron derivados al laboratorio de análisis Analytical Laboratory E.I.R.L., acreditado por el INACAL-DA y registrado con el código N.° LE-096. - Se realizó la comparación entre los datos proporcionados por el laboratorio se contrastaron con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) de la categoría 3(D.S. 004-2017-MINAM).	**Parámetros físicos-químicos.** 1. Cloruros mg/L 2. Conductividad (CE) mg/L 3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO-5) mg/L 4. Oxígeno disuelto (OD) mg/L 5. Potencia de hidrogeno (Ph) Und. De pH **Parámetros inorgánicos.** 1. Aluminio (Al) mg/L 2. Arsénico (As) mg/L 3. Boro (B) mg/L 4. Cadmio (Cd) mg/L 5. Cobre (Cu) mg/L 6. Hierro (Fe) mg/L 7. Manganeso (Mn) mg/L 8. Mercurio (Hg) mg/L 9. Plomo (Pb) mg/L 10. Zinc (Zn) mg/L **Parámetros microbiológicos**	- ECA-A Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Und.	ECA Cat.3 -D1	ECA Cat.3 -D2
Cloruros	mg/L	500	**
Conductividad (CE)	µS/cm	2500	5000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 4	≥ 5
Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Aluminio (Al)	mg/L	5	5
Arsénico (As)	mg/L	0.1	0.2
Boro (B)	mg/L	1	5
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.05
Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	5	**
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.2
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.01
Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.05
Zinc (Zn)	mg/L	2	24

	- Para determinar la calidad de agua de la microcuenca se empleó la metodología del índice de calidad de agua ICA-PE.	1. Coliformes termo tolerantes NMP/ 100 ml 2. Huevos de helmintos Huevos/ L	Coliformes termo tolerantes | NMP/ 100 ml | 1000 | 1000 Huevos de helmintos | Huevos/L | 1 | **
			- Cálculo del modelo matemático ICA-PE. - Rango de calificación del ICA-PE.

Calificación	ICA-PE
Excelente	90-100
Bueno	75-89
Regular	45-74
Malo	30-44
Pésimo	0-29

-

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Vinueza (2023), en su estudio tuvo como objetivo para determinar las condiciones del agua en la microcuenca del río Cinto, utilizando el Índice de Calidad del Agua como herramienta de evaluación (ICA), considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se identificó seis puntos de muestreo distribuidos según las características del área de estudio y las actividades desarrolladas en sus alrededores, incluyendo zonas de páramo, ganadería, área urbana, minería, piscicultura y descargas provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales. Los resultados permitieron determinar la condición del recurso hídrico mediante la integración de los parámetros evaluados a través del ICA, evidenciando diferencias en la calidad del agua asociadas a las actividades humanas presentes en la microcuenca. Concluyó que la aplicación del ICA constituye una herramienta útil para diagnosticar el estado ambiental de los cuerpos hídricos, y facilitar la gestión adecuada del recurso agua.

Paucar et al. (2023), desarrollaron la investigación con el propósito de determinar la calidad del agua superficial del río Jubones en el cantón El Guabo mediante la metodología ICA-NSF. Se tomaron cuatro puntos de muestreo y evaluó nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, turbidez, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales. Los resultados mostraron valores del ICA-NSF entre 53,92 y 57,44, clasificando la calidad del agua como media en todos los puntos evaluados. Asimismo, se identificó que los parámetros con mayor influencia

en el deterioro de la calidad del agua fueron los coliformes fecales y la DBO, evidenciando la presencia de contaminación asociada a actividades antrópicas.

Sánchez (2022), en su investigación su El estudio tuvo como propósito determinar si el agua reunía las condiciones adecuadas para el riego de cultivos. La investigación fue de tipo descriptivo-aplicativo y comprendió la recolección de muestras en cuatro puntos ubicados a lo largo de los ríos. Durante el estudio, se identificaron diversas actividades que podrían influir en la calidad del agua y generar contaminación en distintos niveles. Finalmente, los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se compararon con la normativa ambiental vigente, encontrándose que las muestras evaluadas cumplían con los criterios establecidos y que el agua presentaba un nivel de calidad media.

López et al. (2021) en su investigación establecieron la determinación de las características fisicoquímicas, biológicas y ecotoxicológicas del agua para compararlo con la vigente legislación nacional de Uruguay. Para ello colectaron muestras de agua en cinco puntos diferentes entre los meses de julio y noviembre del año 2017. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos indicaron que sus aguas poseen características de Clase II y III, según lo establecido para aguas superficiales. Los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos indican que algunos parámetros tales como nitrato, nitrógeno total, fósforo total, oxígeno disuelto, DBO5 y coliformes fecales presentaron valores fuera de los límites permitido para la Clase II. El Índice de Calidad de Agua (ICA) otorgó calificaciones regular y mala. Por tanto, los resultados mostraron un aumento de la contaminación acuática del Arroyo Guazú.

Rosero (2021), hizo un estudio de la calidad de agua del rio Tahuando en la ciudad de Ibarra en Ecuador donde realizó el monitorio en cinco tramos del río examinando nueve parámetros que posteriormente comparó con estudios realizados en el año 2026 con el propósito de contrastar el estado actual del recurso concluyendo que según los rangos del ICA-NSF se encuentra en categoría “media”.

3.1.2 A nivel nacional

Mays (2026), en su tesis tomo muestras en tres puntos por cada fuente de agua que posteriormente hizo la comparación con los ECA DEL D. S. 004-2017-MINAM y aplicando el cálculo del ICA-PE confirmando que se están dentro de lo establecido de la cat. A1 del ECA-Agua garantizando así que se puede consumir como agua potable, pero realizando la desinfección mientras que al aplicar el ICA-PE dio un valor de cien en ambas fuentes de agua concluyendo que tienen calidad de agua “excelente”.

Ramos et al. (2023), la investigación se desarrolló bajo un diseño no experimental y tuvo como finalidad analizar el comportamiento del índice ICA-PE frente al índice WQI-NSF en la evaluación de la calidad del agua del río Locumba. Para ello, se aplicaron y compararon ambas metodologías, obteniéndose resultados diferentes. Mediante el ICA-PE, el agua fue clasificada como de calidad mala para el consumo humano y presentó categorías entre regular y mala para otros usos evaluados. En cambio, el índice WQI-NSF convencional indicó una calidad buena, debido a que no contempla la concentración de metales pesados en su evaluación. Por su parte, la versión modificada del WQI-NSF determinó una calidad moderada o regular, tanto para el consumo humano como para el riego. Finalmente, los investigadores concluyeron que el ICA-PE se ajustaba mejor a las

características de la zona estudiada, mientras que las metodologías WQI-NSF, en su versión original y modificada, presentaban limitaciones para representar adecuadamente las condiciones del río Locumba.

Tarapa (2023), en su investigación señala que la concentración de parámetros microbiológicos en las aguas de la bahía interior de Puno, comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, categoría 4 para lagunas y lagos; concluye que el parámetro de coliformes termotolerantes muestra valores menores a los parámetros establecidos en los ECA; sin embargo, según Tarapa, la concentración de los parámetros microbiológicos de las aguas en la “bahía interior de la ciudad de Puno”, llegan a superar los estándares establecidos.

Guerrero et al. (2022), en su investigación tuvieron como objetivo evaluar la calidad del agua del río utilizando la metodología ICA-PE en la región de Apurímac. Tuvo un enfoque cuantitativo de tipo básico y nivel descriptivo. Analizaron las dos muestras tomadas mediante el método del ICA-PE teniendo resultados que de todos los parámetros para la muestra uno y dos el cobre es el único que no cumple de acuerdo con la cat. 3 D1 y los coliformes fecales no cumplen con la cat. 3 D1 y D2 para ambas muestras. Finalmente concluyeron en que ambas muestras tienen calidad de agua regular.

Espinoza et al. (2021), en su tesis tomaron muestras no probabilísticas en seis partes del rio donde los resultados mostraron que los coliformes fecales superan los ECA de la cat. 1 de población y recreacional observando también que sucesivamente los valores siguen aumentado en los puntos.

3.1.3 A nivel regionales o local

ANA, (2024). En el mes de abril, realizó el “XIV monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la parte alta de la cuenca del río Apurímac” (distritos Ocoruro, Pallpata y Yauri, provincia de Espinar) en Cusco, el objetivo central de esta actividad es preservar y conservar la calidad de los recursos hídricos en las fuentes naturales de la región, asegurando su sostenibilidad frente a posibles impactos ambientales con 40 puntos de muestreo, evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos, siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

Gil et al. (2022) en su investigación identificaron las fuentes de deterioro mediante el uso de los parámetros físico-químicos y biológicos determinando la perdida de la calidad del rio. Siguiendo la metodología de la ANA se tomaron muestras de agua y con los resultados del laboratorio se compraron con los ECA-Agua demostrando el amento de alcalinidad del rio son relacionados con las actividades agrícolas y pecuarias de igual forma las descargas de agua residual.

La ANA (2021), la Dirección de Calidad y Evaluación de los Recursos Hídricos y el Proyecto de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Diez Cuencas aprobaron la R. N.º 084-2020-ANA un instrumento de gestión “Diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la unidad hidrográfica Urubamba” identificando y analizando las condiciones que afectan su calidad del cauce principal tomando en cuenta sus fuentes de contaminación. Gracias a los monitoreos hechos la AAA conjuntamente con las Administraciones Locales del Agua de Sicuani, Cusco y La Convención donde se hicieron los análisis

del diagnóstico en el 2012 al 2021 en 199 puntos de monitoreo en dos momentos uno fue del año 2012-2017 y el dos del año 2018-2021.

3.2. Bases teóricas

3.2.1 Calidad del agua

Comprende las propiedades físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico, evaluadas en función de su idoneidad para usos humanos, agrícolas, industriales, ambientales y de abastecimiento, además de contribuir al cuidado de los ecosistemas y a la protección de la salud de las personas. (Villena Chávez, 2018).

Según Atencio (2018), las características del agua varían por las condiciones del entorno por donde circula estando expuesta a los procesos naturales. Estas diferencias pueden identificarse mediante la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos. En conjunto, dichos parámetros permiten determinar la calidad del agua y establecer si reúne las condiciones necesarias para ser utilizada con un propósito específico.

3.2.2 Parámetro físico químico del agua

- Plomo: Es un metal que, aunque aparece de manera natural en bajas concentraciones dentro de los suelos y las rocas sedimentarias puede generar efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos. Su nivel de toxicidad no es el mismo en todos los casos pues está influenciado por las características del agua y por la capacidad de cada especie para tolerar su presencia. (ANA, 2018).

- Mercurio: La existencia de este componente en las fuentes de agua suele estar relacionada principalmente con actividades desarrolladas por el ser humano,

especialmente aquellas vinculadas a la minería y otros procesos industriales. No obstante, en algunas zonas puede encontrarse de manera natural debido a la existencia de depósitos minerales en el subsuelo. A pesar de ello, se trata de un elemento que generalmente se encuentra en cantidades reducidas dentro de la corteza terrestre (ANA, 2018).

- Cadmio: Es un metal que se encuentra de manera natural asociado principalmente a compuestos sulfurados y suele estar presente en pequeñas cantidades dentro de minerales que contienen zinc y plomo. Su ingreso a los cuerpos de agua está relacionado, en gran medida, con actividades como la extracción de minerales y los procesos de fundición, los cuales favorecen su liberación al ambiente (ANA, 2018).

- Cobre: Es un elemento que se encuentra presente en numerosas cuencas hidrográficas y en una gran variedad de minerales que lo contienen presentan una baja capacidad de disolverse en el agua. Además, este metal tiende a adherirse a partículas sólidas, por lo que normalmente se encuentra en concentraciones reducidas en los cuerpos de agua naturales. En ambientes con poco o ningún oxígeno, su solubilidad suele disminuir aún más debido a la presencia de compuestos sulfurados. Cuando se detectan niveles elevados de cobre en aguas superficiales, generalmente están relacionados con actividades humanas, especialmente procesos industriales y operaciones mineras que liberan este metal al ambiente (ANA, 2018).

- Hierro: Se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, normalmente aparece en cantidades pequeñas dentro de los sistemas naturales acuáticos naturales. La forma en que este elemento se presenta y su capacidad

para mantenerse disuelto dependen de las condiciones fisicoquímicas del agua. Generalmente se encuentra en los estados de oxidación +2 y +3, y su presencia en los cuerpos de agua suele estar asociada a procesos naturales derivados de las características geológicas del área (ANA, 2018).

- Zinc: Este elemento se encuentra de forma abundante en diferentes tipos de rocas y minerales; sin embargo, su presencia en los cuerpos de agua naturales suele ser reducida debido a que se disuelve con dificultad. En las aguas superficiales con características alcalinas generalmente aparece en cantidades muy pequeñas, mientras que en ambientes más ácidos su concentración puede incrementarse como consecuencia de una mayor capacidad de disolución (ANA, 2018).

- Cloruro: El estado de oxidación del cloro, es un anión inorgánico importante que se encuentra en el agua y las aguas residuales. El contenido de cloruro es mayor en las aguas residuales que en el agua potable. Los niveles altos de cloruro en el agua pueden dañar tuberías y piezas metálicas. Al mismo tiempo, el alto contenido de cloruro del agua utilizada con fines agrícolas también constituye un problema (Laboratorios Nanolab, 2023).

- Manganeso: Es un elemento que se encuentra de manera frecuente en las rocas y los suelos, generalmente formando parte de compuestos como óxidos e hidróxidos. Su análisis resulta importante en los estudios de calidad del agua, ya que contribuye a comprender el comportamiento y la presencia de otros metales en los ecosistemas acuáticos. La evaluación de este parámetro permite, además, verificar si su presencia en el agua está asociada principalmente a las características naturales del entorno geológico (ANA, 2018).

- Conductividad: La conductividad o conductancia específica de una solución acuosa indica qué tan bien puede transmitir la corriente eléctrica, esta aumenta cuando la solución contiene electrolitos. Los electrolitos son las sales que se disocian al disolverse (Carbotecnia, s.f.).

- Aluminio: Se encuentra entre los elementos más abundantes de la corteza terrestre y forma parte de numerosas rocas, minerales y materiales arcillosos. A pesar de esta amplia distribución en el medio natural, las concentraciones de aluminio en los cuerpos de agua suelen ser bajas. Aunque está presente en prácticamente todas las aguas superficiales, en condiciones de pH cercanas a las naturales sus niveles generalmente se mantienen reducidos y rara vez alcanzan concentraciones elevadas (ANA, 2018).

- Boro: La presencia de boro en los cuerpos de agua puede estar relacionada tanto con las características geológicas propias del lugar como con las descargas de aguas residuales ya sean tratadas o sin tratamiento. Aunque este elemento puede encontrarse de manera natural en el ambiente, concentraciones elevadas pueden generar efectos negativos en determinados cultivos agrícolas, especialmente en especies sensibles como los cítricos. Además, cuando el agua destinada al consumo humano contiene niveles altos de boro, existe el riesgo de que pueda afectar la salud de la población. (ANA, 2018).

- Arsénico: Es un metal pesado altamente tóxico que puede encontrarse en aguas naturales en forma de arseniato y arsenito. Su presencia en estos ambientes puede estar relacionada con los vertimientos industriales y el uso de insecticidas (ANA, 2018).

- pH: Conocido también como potencial de hidrógeno, es un parámetro que permite conocer la concentración de iones hidrógeno presentes en una solución y determinar si esta presenta características ácidas, neutras o alcalinas. Su medición se realiza mediante una escala que va de 0 a 14, donde el valor 7 representa una condición neutra. Cuando existe una mayor cantidad de iones H^+ en el agua, aumenta su acidez y el pH disminuye por debajo de 7; mientras que valores superiores a 7 indican condiciones alcalinas (Environmental Protection Agency (EPA). , 2022).

- Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto es un indicador importante en el análisis de la calidad del agua, pues permite determinar la cantidad de oxígeno disponible dentro del cuerpo hídrico y su relación con los procesos biológicos que ocurren en él. Su concentración está influenciada por factores como la actividad fotosintética de las algas y la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos durante sus procesos biológicos presentes en el agua. Cuando existe una alta actividad biológica, puede generarse una disminución del oxígeno disponible, lo que puede indicar procesos de contaminación o alteraciones en el ecosistema acuático (ANA, 2018).

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5): Este parámetro ambiental está relacionado principalmente con la presencia de materia orgánica en el agua. Su función es determinar la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos presentes en el medio acuático para llevar a cabo los procesos de degradación y transformación de estos compuestos orgánicos mediante reacciones de oxidación en condiciones con disponibilidad de oxígeno. Por ello, su evaluación permite

conocer el nivel de contaminación orgánica y el estado de la calidad del agua (ANA, 2018).

3.2.3 Parámetros Microbiológicos

"Son microorganismos, como bacterias, parásitos o virus, que son señaladores de polución del agua según el grado de concentración (cantidad) en el agua direccionada para que consuma el hombre". Ministerio de Salud, (2010).

- Coliformes Termotolerantes (Fecales): La concentración de este indicador en las aguas superficiales está principalmente relacionada con procesos de contaminación de origen fecal. Esta contaminación puede generarse por la descarga directa de aguas residuales domésticas sin tratamiento hacia cuerpos receptores como ríos y quebradas. Además, otro factor que contribuye a su incremento es la disposición inadecuada de residuos sólidos en los cauces, lo que favorece el deterioro de la calidad del agua (ANA, 2018).

- Huevos de Helmintos: El término helmintos se utiliza para referirse a distintos tipos de gusanos, entre los cuales existen especies capaces de actuar como parásitos en humanos y animales. Estos organismos pueden llegar a los cuerpos de agua principalmente por la descarga de aguas residuales domésticas que no han recibido tratamiento. La contaminación por helmintos representa un problema de salud, ya que pueden transmitirse cuando las personas consumen agua que contiene estos organismos (ANA, 2018).

3.2.4 Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA-agua).

Es la medición de las concentraciones de un elemento, sustancia o parámetro, que sean de naturaleza física, química o biológica presente en el

ecosistema (aire, agua y suelo) donde se mide en un organismo receptor del impacto generado y que no presente riesgo para el bienestar del ecosistema y vitalidad del ser humano. (MINAM).

Lo establecido en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que regula los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua), fue aprobado y publicado el 7 de junio del año 2017. Esta normativa estableció nuevos criterios para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales, reemplazando al Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM. Su finalidad es definir los valores permitidos de concentración de diferentes sustancias y parámetros de tipo físico, químico y biológico presentes en los ecosistemas, permitiendo evaluar las condiciones del ambiente donde se generan posibles impactos.Esta norma se aplica a los cuerpos de agua ubicados dentro del territorio peruano en sus condiciones naturales y constituye una referencia obligatoria para la gestión ambiental de instituciones públicas, privadas y mixtas. Sin embargo, a diferencia de los Límites Máximos Permisibles (LMP), los ECA no tienen carácter sancionador, sino que funcionan como un instrumento para evaluar y controlar el estado de la calidad ambiental. Esta normativa divide el agua en cuatro categorías diferentes, los cuales se mencionan a continuación:

Categoría I: para poblaciones y recreaciones

Categoría II: para la actividad marina costera

Categoría III: para riegos de vegetal y bebida animal

Categoría IV: para las conservaciones de ambientes acuáticos

Para la presente investigación de considera trabajar con la Categoría III: para riegos de vegetal y bebida animal y los parámetros establecidos en esta categoría son los siguientes:

Tabla 2

Parámetros considerados en la Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales.

N°	Parámetro	Unidades
1.	Cloruros	mg/L
2.	Conductividad	mg/L
3.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L
4.	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L
5.	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. de pH
6.	Aluminio	mg/L
7.	Arsénico	mg/L
8.	Boro	mg/L
9.	Cadmio	mg/L
10.	Cobre	mg/L
11.	Hierro	mg/L
12.	Manganeso	mg/L
13.	Mercurio	mg/L
14.	Plomo	mg/L
15.	Zinc	mg/L
16.	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml
17.	Huevos de helmintos	Huevos/L

Nota: Adaptado de la metodología del ICA-PE (ANA, 2018)

3.2.5 Índice de Calidad del Agua (ICA).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es un instrumento que facilita la interpretación y síntesis de los resultados obtenidos al evaluar las condiciones del agua, de manera sencilla, la condición del agua a través de diferentes parámetros que ayudan a evaluar su calidad. Su finalidad es facilitar la comprensión de información importante tanto para estudios científicos como para aplicaciones de ingeniería, permitiendo que cualquier persona pueda interpretar de forma más clara

el estado de una fuente de agua. Estos índices pueden expresarse mediante valores numéricos, gráficos, descripciones, símbolos o colores, lo que facilita su análisis y comparación. (Fernandez & Solano, 2005).

La calidad del agua se analiza mediante el análisis de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, a los cuales se les asigna una valoración que puede ir desde 0, cuando presentan condiciones muy deficientes, hasta 100, cuando muestran características óptimas. Estos índices permiten clasificar el estado de una fuente de agua y conocer si es adecuada para un uso específico, facilitando la interpretación y comunicación sobre las condiciones de los recursos hídricos. No obstante, para que estos datos sean más fáciles de interpretar y sencilla de comprender, es necesario resumir una gran cantidad de datos en un solo valor, lo que puede ocasionar la pérdida de algunos detalles importantes. Aun así, los índices de calidad del agua son herramientas útiles para comparar diferentes puntos de monitoreo y observar variaciones en las condiciones del recurso. Es importante considerar que estos índices representan una síntesis de la información obtenida y no sustituyen un análisis completo de los datos recopilados durante el monitoreo. Por ello, no deben utilizarse como el único criterio para tomar decisiones relacionadas con la gestión y conservación del agua. (ANA, 2018).

Al revisar los resultados del monitoreo de la calidad del agua, fue posible reconocer los indicadores más relevantes para conocer las condiciones en las que se encuentran los recursos hídricos. A través de este análisis, también se pueden identificar posibles problemas relacionados con el agua y evaluar sus efectos en la salud de la población y en el equilibrio de los ecosistemas (ANA, 2018).

3.2.6 Cálculo del ICA-PE

La calidad del agua se determina mediante una fórmula que toma en cuenta tres elementos fundamentales: la extensión del área afectada, la frecuencia con la que se presentan los impactos y la intensidad de sus efectos. El resultado obtenido se expresa en una escala de 0 a 100, lo que permite representar de manera sencilla la condición del recurso hídrico en una zona específica, ya sea en un sitio de muestreo, un río o una cuenca hidrográfica. (ANA, 2018).

$$F_1 = F_2$$

$$F_1 = \frac{Números\ de\ parámetros\ que\ no\ cumplen\ los\ ECA\ agua}{Número\ total\ de\ parámetros\ a\ evaluar} \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{Números\ de\ parámetros\ que\ no\ cumplen\ losECA\ Agua\ de\ los\ datos\ evaluados}{Número\ total\ de\ datos\ a\ evaluar} \quad (2)$$

Para obtener el valor de F_3 se realiza la sumatoria normalizada de excedentes aplicando las siguientes formulas:

$$Excedente\ negativo = \frac{Valor\ establecido\ del\ parámetro\ en\ el\ ECA\ -\ Agua}{Valor\ del\ parámetro\ que\ no\ cumple\ el\ ECA\ -\ Agua} - 1 \quad (3)$$

$$Suma\ Normalizada\ de\ Excedentes = \frac{\sum_i = \text{Excedente}}{Total\ de\ datos} \quad (4)$$

$$F_3 = \left(\frac{Suma\ de\ Excedentes}{Suma\ de\ excedentes+1}\right) * 100 \quad (5)$$

Después de determinar los valores correspondientes a los factores F1, F2 y F3, se realiza el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA). El valor se calcula restando de 100 la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres factores analizados. El resultado se expresa en una escala de 0 a 100: cuanto más se aproxime a 100, mejor será la calidad del agua; en cambio, los valores cercanos a 0 reflejan condiciones de calidad más desfavorables. La fórmula utilizada para este cálculo se presenta a continuación (ANA, 2018):

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \quad (6)$$

Para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA), se empleará una herramienta de cálculo desarrollada en Microsoft Excel, que facilitará el procesamiento y análisis de los datos obtenidos mediante una hoja de cálculo con un sistema automatizado. En esta aplicación se ingresan los datos obtenidos y se aplican las fórmulas necesarias para determinar los factores F1, F2 y F3, así como el valor final del ICA-PE. El resultado obtenido se expresa como un valor numérico sin unidades, comprendido dentro de una escala establecida que permite clasificar la calidad del agua en cinco categorías: pésima, mala, regular, buena y excelente, facilitando la interpretación del estado del recurso hídrico (ANA, 2018).

3.2.7 Interpretación de la calificación ICA-PE

Tabla 3

Interpretación de la calificación ICA-PE

Calificación	ICA
Excelente	90-100
Bueno	75-89
Regular	45-74
Malo	30-44
Pésimo	0-29

Nota. Adaptado de la metodología del ICA-PE (ANA, 2018).

La tabla 3 presenta los criterios para interpretar los valores obtenidos del Índice de Calidad del Agua de los recursos hídricos superficiales del Perú (ICA-PE) permitiendo comprender la calificación y el estado de la calidad que presentan las fuentes de agua (ANA, 2018).

3.3 Definición de términos

- ICA-PE. - Se aplica en los cuerpos de agua superficiales continentales, como un recurso que facilita la presentación de información de forma clara, breve y comprensible, las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos naturales, facilitando su comprensión e interpretación (ANA, 2018).

El 21 de febrero del año 2018 se aprueba bajo la R.J N°068-2018-ANA la "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a cuerpos de agua continentales superficiales" con la cual se realizó la evaluación de la calidad del agua en la microcuenca Ccatccamayo, tomando muestras de los 17 parámetros considerados en la Cat. 3 D1 y D2.

- Cuenca. - Una cuenca hidrográfica es el área geográfica delimitada por divisorias de aguas donde todas las precipitaciones que caen drenan hacia un mismo punto de salida, como un río, lago o mar. Este concepto cuenta con el respaldo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que señala que una cuenca hidrográfica es una unidad natural de territorio donde el agua que cae por precipitación es recogida y conducida por un sistema de drenaje hacia un punto común de salida (FAO, 2017)

- Microcuenca. - Una microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica donde muchos hogares viven, utilizan y administran sus recursos existentes, principalmente tierra, agua y vegetación. Por otro lado, las microcuencas existen presentan interacciones indivisibles entre las dimensiones económicas (bienes y servicios), sociales (comportamiento de personas de uso directo e indirecto de recursos) y la dimensión ambiental (comportamiento o reacción de los recursos naturales hacia las anteriores dimensiones) (Tobar, 2011).

- Microcuenca Ccatccamayo. - Se refiere a la ubicación geográfica especifica donde se llevó a cabo la evaluación de la calidad de agua de la microcuenca antes mencionada mediante la aplicación del ICA-PE.

- El agua. - Está catalogada como fundamental para la vida cotidiana y juega un papel importante en el proceso ecosistémico en el planeta Tierra. La modificación de las características naturales del agua puede generar consecuencias importantes para los ecosistemas y los organismos que dependen de ella. Además, una mala calidad del recurso hídrico puede afectar su aprovechamiento para el consumo de las personas y el desarrollo de actividades

económicas y sociales, entre ellas, la pesca, el transporte y el comercio (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2019)

- ECA-Agua. - En el año 2017, el Ministerio del Ambiente (MINAM), mediante el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, los cuales se organizan en cuatro categorías y diecisiete subcategorías. Para el desarrollo de esta investigación, se consideró la categoría 3, que comprende las subcategorías D1, correspondiente al riego de vegetales, y D2, relacionada con la bebida de animales.

- Parámetros físicos – químicos. – Según D.S N° 004-2017-MINAM y R.J N°068-2018-ANA para la Cat. 3 DI y D2 se consideran los siguientes parámetros físicos- químicos: cloruros, conductividad, demanda bioquímica, oxígeno disuelto y pH.

- Parámetros inorgánicos. - Según D.S N° 004-2017-MINAM y R.J N°068-2018-ANA para la Cat. 3 DI y D2 se consideran los siguientes parámetros inorgánicos: aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc.

- Parámetros microbiológicos. - Según D.S N° 004-2017-MINAM y R.J N°068-2018-ANA para la Cat. 3 DI y D2 se consideran los siguientes parámetros microbiológicos: coliformes termo tolerantes y huevos de helmintos.

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

La investigación es básica, también conocida como investigación fundamental, se enfoca en la generación de nuevos conocimientos, sin necesariamente buscar una aplicación práctica inmediata, según Vásquez et al. (2023), su objetivo es expandir la comprensión en una determinada área de estudio y desarrollar teorías y conceptos que puedan ser aplicados en el futuro.

La investigación es de nivel descriptico, según Hernández et al. (2018) Se señala que una investigación tiene este enfoque cuando está orientada a recopilar información relacionada con las características, propiedades o aspectos principales de un determinado fenómeno y describir los resultados es una investigación es de nivel descriptivo. Es así que la presente investigación precisa aspectos de parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos en la microcuenca; por lo tanto, el estudio presenta un alcance de tipo descriptivo, debido a que se enfoca en la evaluación y descripción de los parámetros analizados, asignándoles valores numéricos que permiten representar sus características y condiciones. Aplicando de esta forma la metodología de cálculo del índice de calidad de ICA-PE para determinar la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo.

El estudio tiene un diseño no experimental, “no se manipuló la variable y se observó el fenómeno tal y como se dio en su contexto natural para luego analizarlo” Hernández et al. (2018), porque se tomó muestras de agua en tres puntos específicos para conocer su nivel de concentración de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológica de las agua de la microcuenca, es

transversal porque se recolecto los datos un periodo determinado en temporada húmeda del año.

4.2 Ámbito temporal y espacial

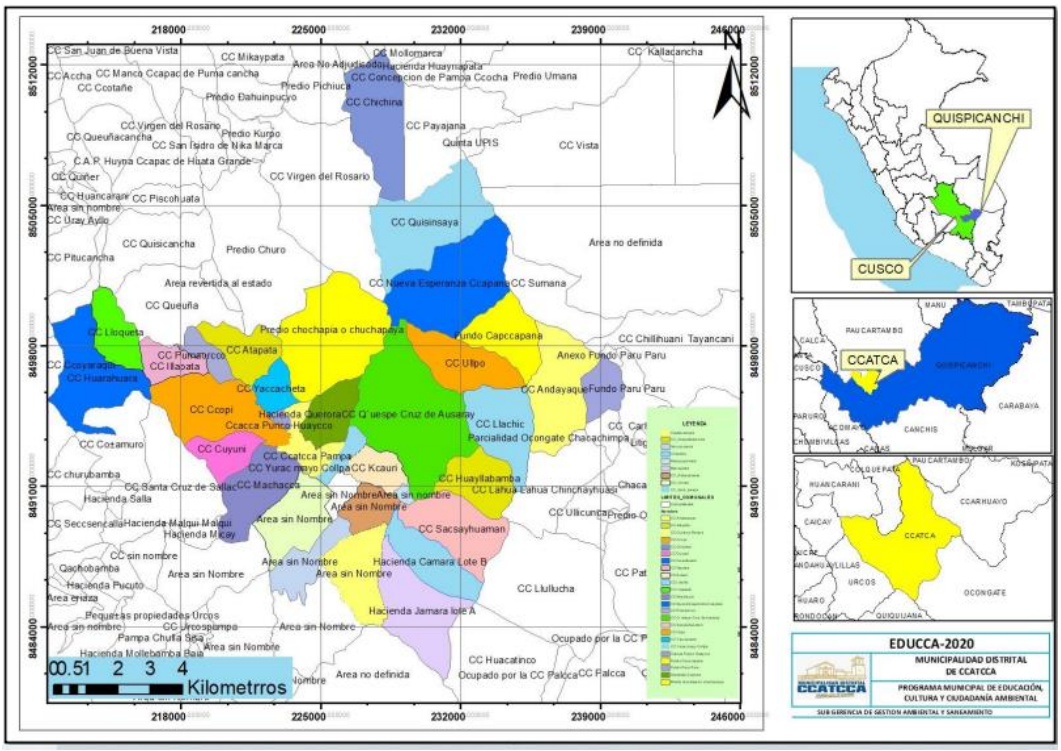
4.21. Ámbito espacial

- **Ubicación Política**

La presente investigación se llevó a cabo en la microcuenca Ccatccamayo del Distrito de Ccatcca, provincia de Quispicanchi, en la región Cusco, Perú. La microcuenca de estudio fue seleccionada como unidad de análisis debido a su representatividad de sistemas productivos agropecuarios de carácter intensivo a nivel local. En dicha área se identificó el desarrollo predominante de actividades como la crianza de cuyes, ganado bovino y ovino, así como la producción artesanal de derivados lácteos, entre ellos queso y yogurt.

Figura 1

Mapa de ubicación geográfica del Distrito de Ccatcca.



Nota. Adaptado del Programa Municipal EDUCCA-CCATCCA-2020 - Municipalidad Distrital de Ccatcca.

Ubicación geográfica

Tabla 4

Ubicación geográfica del Distrito de Ccatcca.

Capital	Ccatcca		
Coordenadas	13°38′04″S de latitud sur y 71°31′44″O de longitud oeste		
Altitud	3 700 msnm (capital)		
Coordenadas UTM	**Zona**	**X**	Y
	19L	222613	8494455

Límites del Distrito de Ccatcca.

Tabla 5

Límites del Distrito de Ccatcca

Límites con los distrito de:	
Al Norte	Huancarani y Qolquepata
Al Sur	Ocongate y Quiquijana
Al Este	Ccarhuayo y Ocongate
Al Oeste	Urcos y Caicay

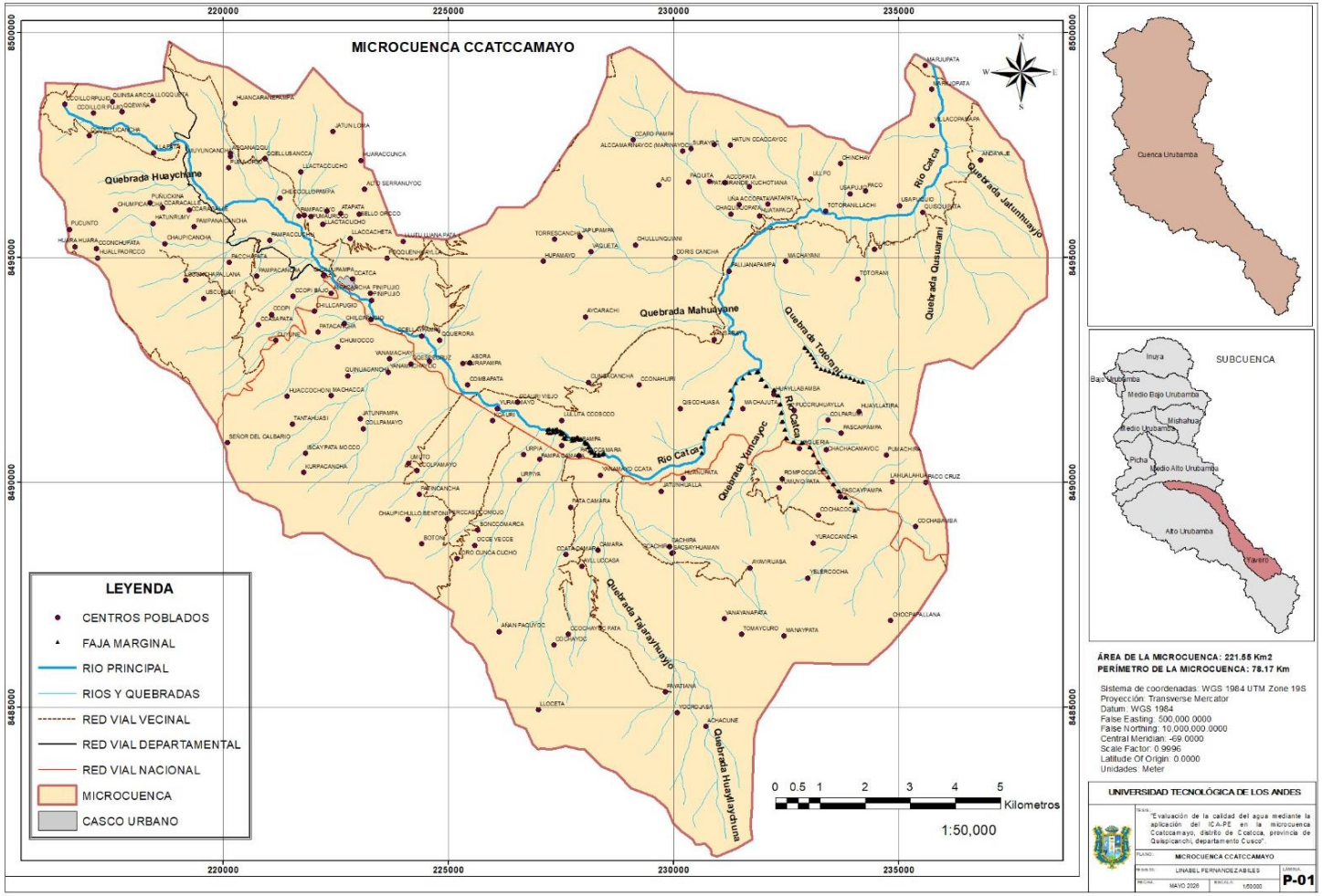
Ubicación de la Microcuenca Ccatccamayo

Tabla 6

Ubicación de la Microcuenca Ccatccamayo

Región	Cusco	
Provincia	Quispicanchi	
Distrito	Ccatcca	
Microcuenca	Ccatccamayo	
Datos técnicos		
Longitud de microcuenca	**33.689 km**	
Coordenadas		
Proyección horizontal	**DATUM: WGS 84 ZONA 19**	
Zona de captación	**Este**	**Norte**
	216441.993	8498416.994
Zona de descarga	**Este**	**Norte**
	235758.925	8499297.250

Figura 2
Zona de estudio Microcuenca Ccatccamayo



4.2.2. Ámbito temporal

La investigación se desarrolló durante los meses de febrero a mayo del año 2026, abarcando todo el proceso de planificación, ejecución y análisis de resultados.

Este periodo incluyó tanto el trabajo de campo como las actividades de laboratorio, permitiendo recopilar la información necesaria. El trabajo de campo fue en el mes de febrero, se basó en la evaluación de la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo, realizada a través de recolección de muestras de agua en tres puntos específicos de microcuenca. Posteriormente, en los siguientes meses se realizó el procesamiento, organización, análisis y validación de toada la información obtenida.

Por último, en mayo del año 2026 se concluyó con el informe final de tesis.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La presente investigación tiene como población constituida el cuerpo hídrico de la microcuenca Ccatccamayo, está ubicado en el distrito de Ccatcca, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco, con un recorrido total de 33.689 km de longitud.

4.3.2 Muestra

Son los tres puntos de monitoreo en el tramo de la microcuenca Ccatccamayo:

- Parte alta de la microcuenca: comunidad campesina de Ccopi (RCM1). Se encuentra en el km 7+396.99 de la microcuenca con coordenadas UTM: E:0221697 y N:8495536.
- Parte media de la microcuenca: centro poblado Qollana Ccatccapampa (RCM2). Se encuentra en el km 12+642.07 de la microcuenca con coordenadas UTM: E:0225110 y N:8492311.
- Parte baja de la microcuenca: comunidad campesina de Sacsayhuaman (RCM3). Se encuentra en el km 17+751.57 de la microcuenca con coordenadas UTM: E:0229157y E:0229157.

Muestreo

No probabilístico intencional, por conveniencia técnica, son los 17 parámetros considerados en la Categoría 3 que comprende las subcategorías D1, correspondiente al riego de vegetales, y D2, relacionada con la bebida de animales que son: físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos.

Tabla 7

Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales.

Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales.	
N°	**Parámetros**
1.	Cloruros
2.	Conductividad
3.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
4.	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)
5.	Potencial de Hidrógeno (pH)
6.	Aluminio
7.	Arsénico
8.	Boro
9.	Cadmio
10.	Cobre
11.	Hierro
12.	Manganeso

13.	Mercurio
14.	Plomo
15.	Zinc
16.	Coliformes Termotolerantes
17.	Huevos de helmintos

Nota. Adaptado de la metodología del ICA-PE (ANA, 2018).

4.4 Instrumentos

- Cadena de custodia del laboratorio.
- Los instrumentos utilizados fueron previamente esterilizados y etiquetados.
- Después de realizar la recolección de las muestras, estas fueron almacenadas y transportadas en un cooler con el propósito de conservarlas a una temperatura inferior a la del ambiente y evitar posibles alteraciones en sus características.
    - Se utilizó una plantilla de información y ecuaciones matemáticas organizadas en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para realizar los cálculos correspondientes para determinar el ICA-PE de la microcuenca.

Técnicas:

Se procedió a tomar las muestras de agua de cada punto específico que fueron 3.

- Análisis de laboratorio.
- Las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio de ensayo Analytical Laboratory E.I.R.L., acreditado por el Organismo de Acreditación INACAL-DA bajo el registro N.° LE-096, con el propósito de

analizar las concentraciones de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos presentes en el agua.

- Para determinar la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo se aplicó la metodología del cálculo matemáticos del ICA-PE.

Validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación:

La validez y confiabilidad de los instrumentos empleados, son sustentadas por los anexos 4: la validación del instrumento de recolección de datos, permitiendo la verificación de los criterios de los 17 parámetros, el anexo 6: la cadena de custodia que fue rellenada por el personal del laboratorio durante el proceso de toma de muestra, siendo un elemento fundamental para garantizar la trazabilidad y confiabilidad de las muestras, el anexo 7: los resultados emitidos por el laboratorio certificado *Analytical Laboratory E.I.R.L.*

Los métodos estándar utilizados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. son los siguientes:

Tabla 8

Métodos y Normas de Rferencia - Analytical Laboratory E.I.R.L.

Parámetros	Método / Norma de Referencia.
Aniones	EPA Method 300.0 Rev.2.1, 1993
Coliformes termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2/ 24th Ed. 2023.
Conductividad	SME WW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2023.
Demanda bioquímica de oxigeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2023.
Metales totales	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO – Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, NB, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.

Oxígeno disuelto	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H. 24th Ed. 2023.
pH	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H. 24th Ed. 2023.
Temperatura	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H. 24th Ed. 2023.
Huevos de helmintos	MVAL-LAB-24, VALIDATED, 2018

En la tabla 8 y anexo 4, se muestran los métodos y normas de referencia utilizados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. para los 17 parámetros.

Asimismo, en el anexo 5 se evidencia el certificado de calibración de los instrumentos utilizados por el laboratorio.

Por último, para evaluar la calidad del agua de la microcuenca, se aplicó la metodología del Índice de Calidad del Agua de Perú (ICA-PE), la cual permitió determinar las condiciones en las que se encuentra la microcuenca.

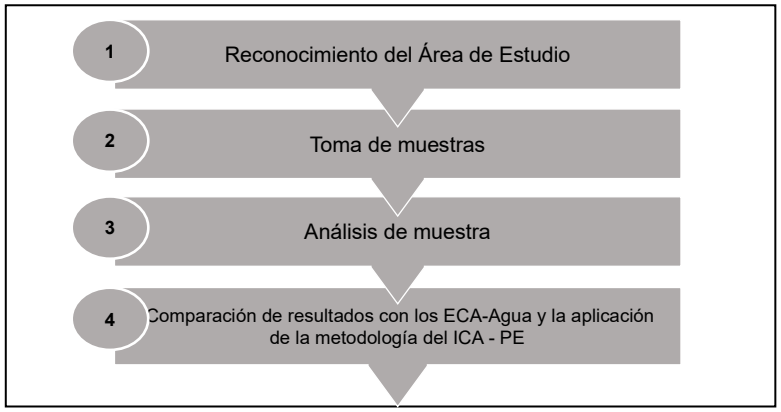
4.5 Procedimientos

El método utilizado es descriptivo, el cual permitió organizar, procesar y analizar los resultados de los parámetros físicos-químicos, inorgánicos y microbiológicos del agua de la microcuenca Ccatccamayo.

La ejecución de la investigación se realizó de acuerdo con las siguientes fases:

Figura 3

Fases para la evaluación de la Calidad de Agua de la Microcuenca Ccatccamayo



a) **Reconocimiento del área de estudio:**

La microcuenca Ccatccamayo se localiza en el distrito de Ccatcca, provincia de Quispicanchi, departamento Cusco, su naciente es en las alturas de los cerros de la comunidad campesina de Illapata del distrito de Ccatcca, y desemboca al rio Mapacho que discurre hasta llegar al rio Vilcanota, que discurre por los departamentos de Cusco y Ucayali. Está conformada por una red de quebradas y riachuelos de carácter principalmente estacional, alimentados por precipitaciones pluviales.

El distrito de Ccatcca está conformado por 06 centros poblados: Andayaque, Qaywa Ccopi, Chichina, Huarahuara, Kcauri, Qollana Ccatccapampa y sus comunidades: Ccatccapampa, Kcauri, Ccopi, Chichina, Andayaque, Alto Serranuyoc, Atapata, Ausaray, Cuyuni, Huayllabamba, Huarahuara, Illapata, Llachi, Lloqueta, Nueva Esperanza Ccapana, Pumaorcco, Querora, Quisinsaya, Sacsayhuaman, Ullpo, Yaccacheta, Yuracmayo, asociación Agropecuaria Ccapana y Anexo Paru Paru).

Dentro del ámbito territorial de la microcuenca Ccatccamayo, se identifican diversas comunidades campesinas y centros poblados que se distribuyen a lo largo de su recorrido hidrológico, desde las partes altas hasta las zonas más bajas de la microcuenca. Estas poblaciones mantienen una relación directa con el recurso hídrico, ya que dependen de él para el desarrollo de sus actividades productivas y de subsistencia.

En la parte alta de la microcuenca, se encuentran las comunidades campesinas Illapata, Llachi, Pumaorcco, Atapata, Yaccacheta y Ccopi, caracterizadas por su ubicación en zonas de mayor altitud.

En la parte media de la microcuenca, se ubica la población de la capital del distrito de Ccatcca y las comunidades campesinas de Cuyuni, Querora, Ccatccapampa, Kcauri y territorialmente también están las comunidades campesinas del distrito de Urcos como Machaca, Umuto, Pampaccamra, Sonccomarca y Ccataccamara. En esta zona, las condiciones topográficas son más moderadas, permitiendo una mayor diversificación de actividades.

Finalmente, en la parte baja de la microcuenca, se localizan las comunidades campesinas Ausaray, Sacsayhuaman, Huayllabamaba y Ullpo, donde el relieve presenta pendientes más suaves y una mayor concentración de suelos aptos para uso agrícola.

En conjunto, estas comunidades se encuentran articuladas por el sistema hídrico de la microcuenca Ccatccamayo, conformando un territorio interdependiente donde las dinámicas ambientales y socioeconómicas están estrechamente vinculadas al comportamiento del agua. Estas áreas son de predominio de pastizales naturales, los cuales constituyen la base para el desarrollo

de sistemas productivos agropecuarios de carácter extensivo, orientados principalmente a la ganadería bovina y ovina, así como a la crianza de especies menores como cuyes. La disponibilidad de cobertura vegetal herbácea favorece el pastoreo continuo, permitiendo el aprovechamiento directo del recurso forrajero.

Asimismo, la población local complementa estas actividades con la transformación de productos pecuarios, destacando la elaboración artesanal de derivados lácteos como queso y yogurt, lo que contribuye a la generación de valor agregado y al fortalecimiento de la economía familiar. De manera paralela, se desarrollan actividades de artesanía tradicional, basadas en el uso de fibras animales, que representan una fuente adicional de ingresos y preservan prácticas culturales propias de la zona.

b) Toma de muestras:

Una vez ubicados en los puntos establecidos para el muestreo, se realizó la recolección de las muestras de agua siguiendo un procedimiento previamente definido.

- Antes de iniciar la toma de muestras en cada punto, se verificó y calibró el equipo utilizado para la medición del pH y la temperatura, con el fin de garantizar la precisión de los datos obtenidos.
- Asimismo, se anotaron los datos de cada muestra, incluyendo la fecha y hora de evaluación, la ubicación del lugar de recolección y las coordenadas UTM, registradas con ayuda de un dispositivo GPS.
- La toma de muestras fue realizada por un (01) analista técnico del laboratorio.

- Las muestras fueron recolectadas siguiendo protocolos estandarizados de muestreo, asegurando su representatividad y evitando su contaminación durante la toma, preservación y transporte hacia el laboratorio. Para ello, se emplearon recipientes adecuados, técnicas de conservación (como refrigeración) y tiempos de traslado controlados.

c) Análisis de muestras:

Las muestras obtenidas durante el muestreo se enviaron a Analytical Laboratory E.I.R.L., laboratorio de ensayo acreditado por el Organismo de Acreditación INACAL-DA, con registro N.° LE-096, para realizar los análisis correspondientes, para determinar sus características físicas, químicas, inorgánicas microbiológicas, y así evaluar su calidad.

d) Comparación de resultados con los ECA- agua y la aplicación de la metodología ICA-PE:

Los datos obtenidos fueron registrados, organizados y sistematizados en tablas, permitiendo su posterior procesamiento e interpretación.

Los datos obtenidos durante los análisis se contrastaron con los límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, tomando como referencia lo dispuesto en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, con la finalidad de determinar si los parámetros evaluados cumplen con los límites establecidos por la normativa vigente MINAM (2017).

4.6 Análisis de datos

Para determinar la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo, se realizó el análisis de los resultados del laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L., de

las muestras tomadas en los 03 puntos de la microcuenca, se hizo la comparación de los resultados obtenidos con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua, aprobados mediante el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, con el propósito de verificar el cumplimiento de los parámetros evaluados según la normativa vigente, se aplicó la metodología del cálculo ICA-PE para determinar valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos, sistematizados en Microsoft Excel (hoja de cálculo).

4.7 Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando los principios de ética científica, garantizando la veracidad, confiabilidad y transparencia de los datos obtenidos durante el proceso de muestreo y análisis de la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo. Asimismo, se aplicaron metodologías estandarizadas establecidas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y los valores definidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-agua), con la finalidad de asegurar resultados objetivos y técnicamente válidos.

V. Resultados y Discusión

5.1 Resultados descriptivos

5.1.1 Objetivos especifico 1: Determinar los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos necesarios para el cálculo del ICA-PE en la microcuenca Ccatccamayo.

5.1.1.1 Parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la microcuenca Ccatccamayo.

En las siguientes tablas 9, 10, 11 y el anexo 4 muestran los resultados del laboratorio obtenidos de las muestras tomadas en los 03 puntos de la microcuenca Ccatccamayo de los 17 parámetros evaluados en la Categoría 3, correspondiente al riego de vegetales y la bebida de animales, de acuerdo con la metodología del Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) para cuerpos de agua continentales superficiales, establecida mediante la Resolución Jefatural N.° 068-2018-ANA

Tabla 9

Resultados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la Microcuenca Ccatccamayo - Muestra 0 1- C.C. Ccopi.

Código de laboratorio	M-26-9073	**Muestra 01**
Código de cliente	RCM-1	
Coordenadas – UTM WGS84	E:0221697 N:8495536	Comunidad campesina de Ccopi
Temperatura de medición de campo	13,2°	
Fecha y hora de muestreo	Fecha: 09/02/2026	Hora:10.30 am
Parámetros	**Unidad**	**Resultados**
Parámetros físicos-químicos		
Cloruros	mg/L	1.78
Conductividad (CE)	µS/cm	130.90

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	8.2
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	5.50
Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	7.74
Parámetros inorgánicos		
Aluminio (Al)	mg/L	0.1192
Arsénico (As)	mg/L	<0.00100
Boro (B)	mg/L	<0.0010
Cadmio (Cd)	mg/L	<0.00020
Cobre (Cu)	mg/L	0.00101
Hierro (Fe)	mg/L	0.4274
Manganeso (Mn)	mg/L	0.080998
Mercurio (Hg)	mg/L	<0.000100
Plomo (Pb)	mg/L	<0.00100
Zinc (Zn)	mg/L	0.010258
Parámetros microbiológicos		
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	13.0
Huevos de helmintos	Huevos/L	<1

La tabla 9 muestra los resultados obtenidos del laboratorio del análisis de los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos del agua de la microcuenca Ccatccamayo de la muestra 01 encontrando: cloruro con valor 1,78 mg/L, conductividad con valor de 130,90 µS/cm, demanda bioquímica de oxígeno con valor de 8,2 mg/L, oxígeno disuelto con un valor de 5,50 mg/L, pH con valor de 7,74 Unid. de pH, aluminio con valor de 0,1192 mg/L, arsénico con valor menor a 0,00100 mg/L, boro con valor menor a 0,0010 mg/L, cadmio con valor menor a 0,00020 mg/L, cobre con un valor de 0,00101 mg/L, hierro con valor de 0,4274 mg/L, manganeso con valor de 0,080998 mg/L, mercurio con valor menor a 0,000100 mg/L, plomo con valor menor a 0,00100 mg/L, zinc con valor de 0,010258 mg/L, coliformes termo tolerantes con valor de 13,0 NMP/100 ml, huevos de helminto con valor menor a 1 Huevos/L.

Tabla 10

Resultados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la Microcuenca Ccatccamayo - Muestra 02- C.P. Qollana Ccatccapampa.

Código de laboratorio	M-26-9074	**Muestra 02**
Código de cliente	RCM-2	
Coordenadas – UTM WGS84	E:0225110 N:8492311	Centro Poblado Qollana Ccatccapampa
Temperatura de medición de campo	14,2°	
Fecha y hora de muestreo	Fecha: 09/02/2026	Hora:13.15 pm
Parámetros	**Unidad**	**Resultados**
Parámetros físicos-químicos		
Cloruros	mg/L	8.42
Conductividad (CE)	µS/cm	294.00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	<2.0
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	5.70
Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	7.79
Parámetros inorgánicos		
Aluminio (Al)	mg/L	0.0475
Arsénico (As)	mg/L	0.00101
Boro (B)	mg/L	0.0157
Cadmio (Cd)	mg/L	<0.00020
Cobre (Cu)	mg/L	0.00094
Hierro (Fe)	mg/L	0.2700
Manganeso (Mn)	mg/L	0.033095
Mercurio (Hg)	mg/L	<0.000100
Plomo (Pb)	mg/L	<0.00100
Zinc (Zn)	mg/L	0.005261
Parámetros microbiológicos		
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	170.0
Huevos de helminto	Huevos/L	<1

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos del laboratorio del análisis de los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos del agua de la microcuenca Ccatccamayo de la muestra 02 encontrando: cloruro con valor 8,42

mg/L, conductividad con valor de 294,00 µS/cm, demanda bioquímica de oxígeno con valor menor a 2,0 mg/L, oxígeno disuelto con un valor de 5,70 mg/L, pH con valor de 7,79 Unid. de pH, aluminio con valor de 0,0475 mg/L, arsénico con valor de 0,00101 mg/L, boro con valor de 0,0157 mg/L, cadmio con valor menor a 0,00020 mg/L, cobre con un valor de 0,00094 mg/L, hierro con valor de 0,2700 mg/L, manganeso con valor de 0,033095 mg/L, mercurio con valor menor a 0,000100 mg/L, plomo con valor menor a 0,00100 mg/L, zinc con valor de 0,005261mg/L, coliformes termo tolerantes con valor de 170,0 NMP/100 ml y huevos de helminto con valor menor a 1 Huevos/L.

Tabla 11

Resultados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos de la Microcuenca Ccatccamayo - Muestra 03- C.C. Sacsayhuaman.

Código de laboratorio	M-26-9075	**Muestra 03**
Código de cliente	RCM-3	
Coordenadas – UTM WGS84	E:0229157 N:8490121	Comunidad Campesina Sacsayhuaman
Temperatura de medición de campo	20,8°	
Fecha y hora de muestreo	Fecha: 09/02/2026	Hora:13:45 pm
Parámetros	**Unidad**	**Resultados**
Parámetros físicos-químicos		
Cloruros	mg/L	2.81
Conductividad (CE)	µS/cm	240.00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	7.3
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	5.90
Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	7.66
Parámetros inorgánicos		
Aluminio (Al)	mg/L	0.1945
Arsénico (As)	mg/L	0.00105
Boro (B)	mg/L	0.0172

Cadmio (Cd)	mg/L	<0.00020
Cobre (Cu)	mg/L	0.00193
Hierro (Fe)	mg/L	0.2351
Manganeso (Mn)	mg/L	0.116406
Mercurio (Hg)	mg/L	<0.000100
Plomo (Pb)	mg/L	<0.00100
Zinc (Zn)	mg/L	0.017034
Parámetros microbiológicos		
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	7.0
Huevos de helminto	Huevos/L	<1

La tabla 11 muestra los resultados obtenidos del laboratorio del análisis de los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos del agua de la microcuenca Ccatccamayo de la muestra 03 encontrando: cloruro con valor 2,81 mg/L, conductividad con valor de 240,00 µS/cm, demanda bioquímica de oxígeno con valor de 7,3 mg/L, oxígeno disuelto con un valor de 5,90 mg/L, pH con valor de 7,66 Unid. de pH, aluminio con valor de 0,1945 mg/L, arsénico con valor de 0,00105 mg/L, boro con valor de 0,0172 mg/L, cadmio con valor menor a 0,00020 mg/L, cobre con un valor de 0,00193 mg/L, hierro con valor de 0,2351 mg/L, manganeso con valor de 0,116406 mg/L, mercurio con valor menor a 0,000100 mg/L, plomo con valor menor a 0,00100 mg/L, zinc con valor de 0,017034 mg/L, coliformes termo tolerantes con valor de 79,0 NMP/100 ml y huevos de helminto con valor menor a 1 Huevos/L.

En la tabla 12, se muestran los resultados obtenidos del laboratorio de las muestras tomadas en los 03 puntos de la microcuenca Ccatccamayo, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de la categoría 3 con sus subcategorías D1 y D2:

Tabla 12

Comparación de los resultados obtenidos del laboratorio con los ECA-A Categoría 3 con sus subcategorías D1 y D2

PUNTOS DE MONITOREO					Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Parámetros		Unidad	ECA Cat.3-D1	ECA Cat.3-D2	Resultados	Resultados	Resultados
Parámetros físicos-químicos	Cloruros	mg/L	500	**	1.78	8.42	2.81
	Conductividad (CE)	µS/cm	2500	5000	130.9	294	240
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15	8.2	<2.0	7.3
	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 4	≥ 5	5.5	5.7	5.9
	Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	7.74	7.79	7.66
Parámetros inorgánicos	Aluminio (Al)	mg/L	5	5	0.1192	0.0475	0.1945
	Arsénico (As)	mg/L	0.1	0.2	<0.00100	0.00101	0.00105
	Boro (B)	mg/L	1	5	<0.0010	0.0157	0.0172
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.05	<0.00020	<0.00020	<0.00020
	Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.5	0.00101	0.00094	0.00193
	Hierro (Fe)	mg/L	5	**	0.4274	0.27	0.2351
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.2	0.080998	0.033095	0.116406
	Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.01	<0.000100	<0.000100	<0.000100
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.05	<0.00100	<0.00100	<0.00100
	Zinc (Zn)	mg/L	2	24	0.010258	0.005261	0.017034
Parámetros microbiológicos	Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	1000	13	170	7
	Huevos de helmintos	Huevos/L	1	**	<1	<1	<1

La tabla 12 presenta, de acuerdo con la comparación realizada entre los resultados de laboratorio Al comparar los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), se determinó que todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los valores establecidos para la Categoría 3, que comprende el riego de vegetales y la bebida de animales, específicamente en las subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales). En ese sentido, los valores registrados se encuentran dentro de los

rangos aceptables, evidenciando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Esto indica que el recurso hídrico evaluado no presenta niveles de contaminación que comprometan su calidad en función del uso considerado.

5.1.2 Objetivo específico 2: Calcular el valor del ICA-PE en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo.

5.1.2.1 Cálculo del valor del ICA-PE en los puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo.

Tabla 13

Hoja de cálculo Excel: para el cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoria 3-subcategoría D1.

PUNTOS DE MONITOREO				Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	VALOR EXCEDENTE DE CADA PARÁMETRO RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO EN EL ECA-AGUA Cat.3-D1					
Parámetros		Unidad	ECA Cat.3-D1	Resultados	Resultados	Resultados	Excedentes muestra 01		Excedentes muestra 02		Excedentes muestra 03	
Parámetros físicos-químicos	Cloruros	mg/L	500	1.78	8.42	2.81	1.78	279.8989	8.42	58.3824	2.81	176.9359
	Conductividad (CE)	µS/cm	2500	130.9	294	240	130.9	18.0985	294	7.5034	240	9.4167
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15	8.2	<2.0	7.3	8.2	0.8293	2	6.5000	7.3	1.0548
	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 4	5.5	5.7	5.9						
	Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	6,5 – 8,5	7.74	7.79	7.66						
Parámetros inorgánicos	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.1192	0.0475	0.1945	0.1192	40.9463	0.0475	104.2632	0.1945	24.7069
	Arsénico (As)	mg/L	0.1	<0.00100	0.00101	0.00105	0.001	99.0000	0.00101	98.0099	0.00105	94.2381
	Boro (B)	mg/L	1	<0.0010	0.0157	0.0172	0.001	999.0000	0.0157	62.6943	0.0172	57.1395
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	<0.00020	<0.00020	<0.00020	0.0002	49.0000	0.0002	49.0000	0.0002	49.0000

	Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.00101	0.00094	0.00193	0.00101	197.0198	0.00094	211.7660	0.00193	102.6269
	Hierro (Fe)	mg/L	5	0.4274	0.27	0.2351	0.4274	10.6986	0.27	17.5185	0.2351	20.2675
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.080998	0.033095	0.116406	0.080998	1.4692	0.033095	5.0432	0.116406	0.7181
	Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	<0.000100	<0.000100	<0.000100	0.0001	9.0000	0.0001	9.0000	0.0001	9.0000
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0.001	49.0000	0.001	49.0000	0.001	49.0000
	Zinc (Zn)	mg/L	2	0.010258	0.005261	0.017034	0.010258	193.9698	0.005261	379.1559	0.017034	116.4122
Parámetros microbiológicos	Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	13	170	7	13	75.9231	170	4.8824	7	141.8571
	Huevos de helmintos	Huevos/L	1	<1	<1	<1	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			0	0	0	Sumatoria MUESTRA 01:	2023.8535	Sumatoria MUESTRA 02:	1062.7191	Sumatoria MUESTRA 03:	852.3740
	Número total de parámetros a evaluar			17	17	17						
	Número total de datos que no cumplen el ECA			0	0	0						
	Número total de datos			17	17	17						
F1				0	0	0						
F2				0	0	0						
Sumatoria Normalizada de excedentes				119.05	62.51	50.14	Leyenda:					
F3				99.17	98.43	98.04		Excedentes positivos				
ICA				42.75	43.17	43.39		Excedentes negativo				
VALOR DE TABLA				Malo	Malo	Malo		El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría				

En la tabla 13 se muestra la plantilla de calculo que fue diseñada en una hoja de cálculo en Microsoft Excel para la determinación del Índice de Calidad del Agua para Perú (ICA-PE), donde se ingresó los datos: los 03 puntos de muestra, resultados de las muestras (resultados del laboratorio) y los valores establecidos en los ECA – A de la categoría 3 D1, con los cuales se realizó la evaluación de cada parámetro. Donde el “Número de parámetros que NO cumplen” es 0 para la muestra 1, 2 y 3 porque ninguno de los parámetros evaluados excede los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- subcategoría D1, el “Número total de parámetros a evaluar” es 17 parámetros para cada punto de muestra, el “Número total de datos que no cumplen el ECA” es 0 para cada punto de muestra porque no se muestra ninguno de los datos que excedan los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- D1, el “Número total de datos” es 17 para cada punto de muestra. Entonces para realizar el cálculo del factor F_1 se utilizó la ecuación 1 para cada punto de muestra:

Tabla 14

Cálculo del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$\mathrm{F_1} = \frac{0}{17} = 0$	$\mathrm{F_1} = \frac{0}{17} = 0$	$\mathrm{F_1} = \frac{0}{17} = 0$

Para determinar el valor del factor F_2 utilizó la ecuación 1 para cada punto de muestra:

Tabla 15

Cálculo del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$F_2 = \frac{0}{17} = 0$	$F_2 = \frac{0}{17} = 0$	$F_2 = \frac{0}{17} = 0$

Para el cálculo del factor F_3 se aplicó la siguiente formula donde se determinó por la suma normalizada de excedentes, en la tabla 13 se muestra el "valor excedente de cada parámetro respecto al valor establecido en el ECA-Agua Cat.3-D1" donde se observa en la tabla que en su totalidad de cada parámetro son excedentes negativos por lo tanto se aplicó la ecuación 3, para posteriormente realizar la suma total de los excedentes negativos de las tres muestras. Para obtener el valor de la sumatoria normalizada de excedentes se utilizó la ecuación 4.

Obteniendo un valor para la muestra 01: 119.05, en la muestra 02: 62.51 y en la muestra 03: 50.14.

Para el cálculo del factor F_3 se utilizó la ecuación 5:

Tabla 16

Cálculo del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$F_3 = \left(\frac{1\ 19.05}{1\ 19.05 + 1}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{62.51}{62.51 + 1}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{50.14}{50.14 + 1}\right) * 100$
$F_3 = \left(\frac{1\ 19.05}{120.05}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{62.51}{63.51}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{50.14}{51.14}\right) * 100$
$F_3 = (0.99) * 100$	$F_3 = (0.98) * 100$	$F_3 = (0.98) * 100$
$F_3 = 99.17$	$F_3 = 98.43$	$F_3 = 98.04$

Para determinar el valor ICA-PE en cada punto de muestreo se utilizó la ecuación 6:

Tabla 17

Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3-subcategoría D1.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (99.17)^2}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (98.43)^2}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (98.04)^2}{3}}$
$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,834.68}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,688.46}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,611.84}{3}}$
$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,278.22}$ $ICA - PE = 100 - 57.25 = 42.75$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,229.48}$ $ICA - PE = 100 - 56.82 = 43.17$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,203.94}$ $ICA - PE = 100 - 56.60 = 43.39$

Según los valores del ICA-PE, tenemos como resultado en la tabla 13 y en la tabla 17, se observa que para la muestra 01 el valor ICA-PE es: 42.75, para la muestra 02 es: 43.17 y para la muestra 03 es: 43.39 que son ECA-A Categoría 3-subcategoría D1.

Tabla 18

Hoja de cálculo Excel: para el cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoria 3-subcategoría D2.

PUNTOS DE MONITOREO				Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	VALOR EXCEDENTE DE CADA PARÁMETRO RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO EN EL ECA-AGUA Cat.3-D2					
Parámetros		**Unidad**	**ECA Cat.3-D2**	**Resultados**	**Resultados**	**Resultados**	**Excedentes muestra 01**		**Excedentes muestra 02**		**Excedentes muestra 03**	
Parámetros físicos-químicos	Cloruros	mg/L	**	1.78	8.42	2.81						
	Conductividad (CE)	µS/cm	5000	130.9	294	240	130.9	37.1971	294	16.0068	240	19.8333
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15	8.2	<2.0	7.3	8.2	0.8293	2	6.5000	7.3	1.0548
	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 5	5.5	5.7	5.9						
	Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	6,5 – 8,4	7.74	7.79	7.66						
Parámetros inorgánicos	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.1192	0.0475	0.1945	0.1192	40.9463	0.0475	104.2632	0.1945	24.7069
	Arsénico (As)	mg/L	0.2	<0.00100	0.00101	0.00105	0.001	199.0000	0.00101	197.0198	0.00105	189.4762
	Boro (B)	mg/L	5	<0.0010	0.0157	0.0172	0.001	4999.0000	0.0157	317.4713	0.0172	289.6977
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	<0.00020	<0.00020	<0.00020	0.0002	249.0000	0.0002		0.0002	
	Cobre (Cu)	mg/L	0.5	0.00101	0.00094	0.00193	0.00101	494.0495	0.00094	530.9149	0.00193	258.0674
	Hierro (Fe)	mg/L	**	0.4274	0.27	0.2351						
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.080998	0.033095	0.116406	0.080998	1.4692	0.033095	5.0432	0.116406	0.7181
	Mercurio (Hg)	mg/L	0.01	<0.000100	<0.000100	<0.000100	0.0001	99.0000	0.0001	99.0000	0.0001	99.0000
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0.001	49.0000	0.001	49.0000	0.001	49.0000
	Zinc (Zn)	mg/L	24	0.010258	0.005261	0.017034	0.010258	2338.6374	0.005261	4560.8704	0.017034	1407.9468
Parámetros microbiológicos	Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	13	170	7	13	75.9231	170	4.8824	7	141.8571

	Huevos de helmintos	Huevos/L	**	<1	<1	<1
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			0	0	0
	Número total de parámetros a evaluar			14		14
	Número total de datos que no cumplen el ECA			0	0	0
	Número total de datos			14	14	14
F1				0	0	0
F2				0	0	0
Sumatoria Normalizada de excedentes				613.15	420.78	177.24
F3				99.84	99.76	99.44
ICA				42.36	42.40	42.59
VALOR DE TABLA				Malo	Malo	Malo

Sumatoria MUESTRA 01:	8584.0518	Sumatoria MUESTRA 02:	5890.9719	Sumatoria MUESTRA 03:	2481.3584

Leyenda:

Excedentes positivos

Excedentes negativo

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría

En la tabla 18 se muestra la plantilla de calculo que fue diseñada en una hoja de cálculo en Microsoft Excel para la determinación del Índice de Calidad del Agua para Perú (ICA-PE), donde se ingresó los datos: los 03 puntos de muestra, resultados de las muestras (resultados del laboratorio) y los valores establecidos en los ECA – A de la categoría 3 D2, con los cuales se realizó la evaluación de cada parámetro. Donde el "Número de parámetros que NO cumplen" es 0 para la muestra 1, 2 y 3 porque ninguno de los parámetros evaluados excede los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- subcategoría D2, el "Número total de parámetros a evaluar" es 14 parámetros para cada punto de muestra, el "Número total de datos que no cumplen el ECA" es 0 para cada punto de muestra porque no se muestra ninguno de los datos que excedan los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- D2, el "Número total de datos" es 14 para cada punto de muestra. Entonces para realizar el cálculo del factor F_1 se utilizó la ecuación 1 para cada punto de muestra:

Tabla 19

Determinación del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$\mathrm{F_1} = \frac{0}{14} = 0$	$\mathrm{F_1} = \frac{0}{14} = 0$	$\mathrm{F_1} = \frac{0}{14} = 0$

Para calcular el valor del factor F_2 se utilizó la ecuación 2 para las tres muestras:

Tabla 20

Determinación del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$F_2 = \frac{0}{14} = 0$	$F_2 = \frac{0}{14} = 0$	$F_2 = \frac{0}{14} = 0$

Para el cálculo del factor F_3 se empleó la siguiente formula donde se determinó por la suma normalizada de excedentes, en la tabla 18 se muestra el "valor excedente de cada parámetros respecto al valor establecido en el ECA-AGUA Cat.3-D2" donde se observa en la tabla que en su totalidad de cada parámetro son excedentes negativos donde se utilizó la ecuación 3.

Al obtener el valor de la suma total de los excedentes negativos de las tres muestras procedemos a determinar el valor de la sumatoria normalizada de excedentes se utilizó la ecuación 4.

Obteniendo como valor para la muestra 01 es: 613.15, en la muestra 02 es: 420.78, en la muestra 03 es: 177.24.

Para calcular el valor del factor F_3 se utilizó la ecuación 5:

Tabla 21

Determinación del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$F_3 = \left(\frac{613.15}{613.15 + 1}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{420.78}{420.78 + 1}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{177.24}{177.24 + 1}\right) * 100$
$F_3 = \left(\frac{613.15}{614.15}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{420.78}{421.78}\right) * 100$	$F_3 = \left(\frac{177.24}{178.24}\right) * 100$
$F_3 = (0.99) * 100$	$F_3 = (0.99) * 100$	$F_3 = (0.99) * 100$
$F_3 = 99.84$	$F_3 = 99.76$	$F_3 = 99.44$

Por ultimo para el cálculo del valor ICA-PE en cada punto de muestreo se utilizó la ecuación 6:

Tabla 22

Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3-subcategoría D2.

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (99.84)^2}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (99.76)^2}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (99.44)^2}{3}}$
$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,968.02}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,952.05}{3}}$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,888.31}{3}}$
$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,322.67}$ $ICA - PE = 100 - 57.64 = 42.36$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,2317.35}$ $ICA - PE = 100 - 57.59 = 42.40$	$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,296.10}$ $ICA - PE = 100 - 57.41 = 42.59$

Según los valores del ICA-PE, tenemos como resultado en la tabla 18 y en la tabla 22: se observa que para la muestra 01 el valor ICA-PE es: 42.36, para la muestra 02 es: 42.40 y para la muestra 03 es: 42.59 que son ECA-A Categoría 3-subcategoría D2.

5.1.3 Objetivo específico 3: Clasificar la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo según la calificación establecidas por el ICA-PE.

5.1.3.1 Clasificación de la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo según la calificación establecida por el ICA-PE.

Interpretación de la Calificación ICA-PE

Tabla 23

Interpretación de la Calificación ICA-PE

ICA-PE	90-100	75-89	45-74	30-44	0-29
Calificación	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Pésimo

Tabla 24

Monitoreo y calificación de la calidad de agua de cada muestra de agua de la microcuenca Ccatccamayo según el ICA-PE

Monitoreo del 9 de febrero de la Microcuenca Ccatccamayo- Época Húmeda						
N°	Coordenadas	Punto de monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE		
				ECA Cat.3-D1	ECA Cat.3-D2	
1	E:0221697 N:8495536	Comunidad campesina de Ccopi	Rio Ccatccamayo	42.75	42.36	Malo
2	E:0225110 N:8492311	Centro Poblado Qollana Ccatccapampa	Rio Ccatccamayo	43.17	42.40	Malo
3	E:0229157 N:8490121	Comunidad Campesina Sacsayhuaman	Rio Ccatccamayo	43.39	42.59	Malo

En la tabla 24 se muestra el valor ICA-PE de los ECA-A de la Categoría 3-D1 y D2 de cada punto de muestreo de la Microcuenca Ccatccamayo, y según la interpretación de la tabla 23 se determinó que:

La muestra 01 donde el punto de monitoreo fue en la Comunidad campesina de Ccopi es de 42.75 para la Cat.3-D1 y 42.36 para la Cat.3-D1 la cual se califica el estado de la calidad de agua como “Malo”.

La muestra 02 donde el punto de monitoreo fue en el Centro Poblado Qollana Ccatccapampa es de 43.17 para la Cat.3-D1 y 42.40 para la Cat.3-D1 la cual se califica el estado de la calidad de agua como “Malo”.

La muestra 03 donde el punto de monitoreo fue en la Comunidad campesina de Sacsayhuaman es de 43.39 para la Cat.3-D1 y 42.59 para la Cat.3-D1 la cual se califica el estado de la calidad de agua como “Malo”.

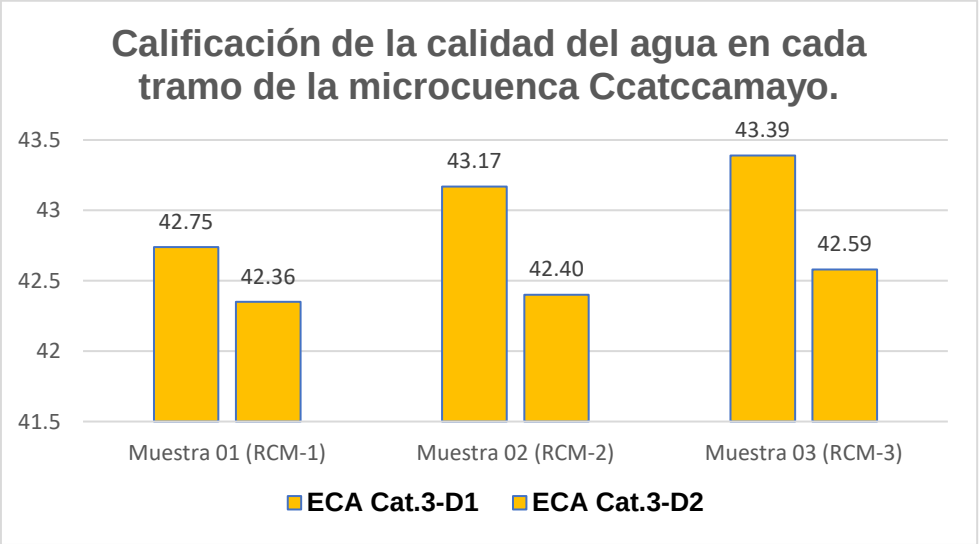
5.1.4. Objetivo específico 4: Identificar los tramos de la microcuenca Ccatccamayo con mejor y peor calidad del agua de acuerdo con los resultados del ICA-PE.

5.1.4.1 Calificación de la calidad del agua de los tramos establecidos en la microcuenca Ccatccamayo de acuerdo con los resultados del ICA-PE.

Según la tabla 24 se observa que en los tramos de la muestra 01, muestra 02 y muestra 03 tienen valores ICA-PE que están dentro del rango de 30 a 44 que tiene como calificación el estado de calidad de agua como: Malo.

Figura 4

Calificación de la calidad de agua en los tres tramos de la microcuenca Ccatccamayo.



En la figura 4 se visualiza los valores de cada punto de muestra en cada tramo de la microcuenca Ccatccamayo y según la interpretación de la tabla 23 se determinó los valores de calificación son agua de calidad “mala” para los ECA-agua Cat. 3 D1 y D2.

Figura 5

Representación Gráfica del ICA-PE de la microcuenca Ccatccamayo

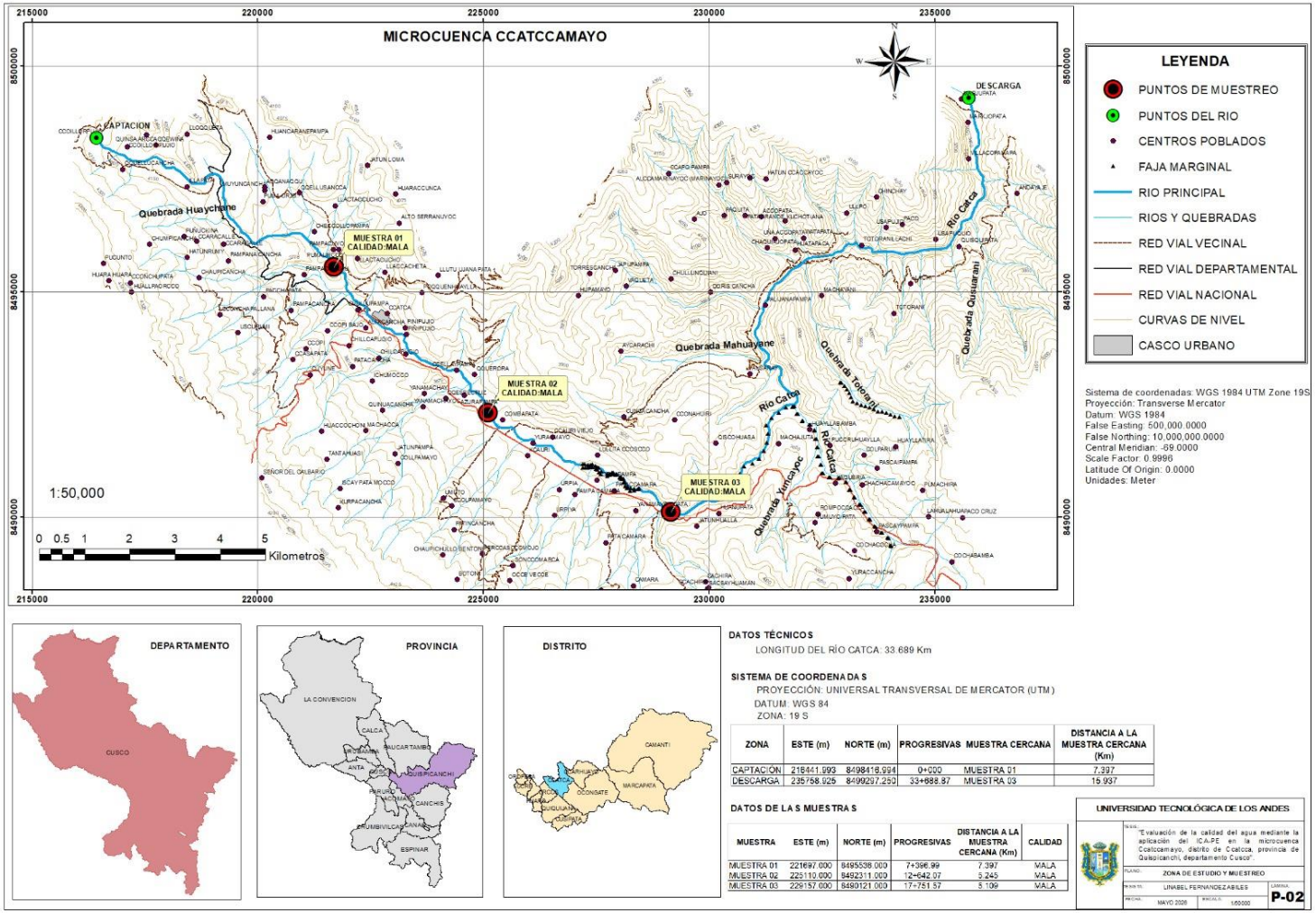


Tabla 25

Cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de toda la microcuenca Ccatccamayo.

PUNTOS DE MONITOREO				Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	VALOR EXCEDENTE DE CADA PARÁMETRO RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO EN EL ECA-AGUA **Cat.3-D1**					
Parámetros		**Unidad**	**ECA Cat.3-D1**	**Resultados**	**Resultados**	**Resultados**	**Excedentes muestra 01**		**Excedentes muestra 02**		**Excedentes muestra 03**	
Parámetros físicos-químicos	Cloruros	mg/L	500	1.78	8.42	2.81	1.78	279.8989	8.42	58.3824	2.81	176.9359
	Conductividad (CE)	µS/cm	2500	130.9	294	240	130.9	18.0985	294	7.5034	240	9.4167
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15	8.2	<2.0	7.3	8.2	0.8293	2	6.5000	7.3	1.0548
	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 4	5.5	5.7	5.9						
	Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	6,5 – 8,5	7.74	7.79	7.66						
Parámetros inorgánicos	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.1192	0.0475	0.1945	0.1192	40.9463	0.0475	104.2632	0.1945	24.7069
	Arsénico (As)	mg/L	0.1	<0.00100	0.00101	0.00105	0.001	99.0000	0.00101	98.0099	0.00105	94.2381
	Boro (B)	mg/L	1	<0.0010	0.0157	0.0172	0.001	999.0000	0.0157	62.6943	0.0172	57.1395
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	<0.00020	<0.00020	<0.00020	0.0002	49.0000	0.0002	49.0000	0.0002	49.0000
	Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.00101	0.00094	0.00193	0.00101	197.0198	0.00094	211.7660	0.00193	102.6269
	Hierro (Fe)	mg/L	5	0.4274	0.27	0.2351	0.4274	10.6986	0.27	17.5185	0.2351	20.2675
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.080998	0.033095	0.116406	0.080998	1.4692	0.033095	5.0432	0.116406	0.7181
	Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	<0.000100	<0.000100	<0.000100	0.0001	9.0000	0.0001	9.0000	0.0001	9.0000
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0.001	49.0000	0.001	49.0000	0.001	49.0000

	Zinc (Zn)	mg/L	2	0.010258	0.005261	0.017034	0.010258	193.9698	0.005261	379.1559	0.017034	116.4122
Parámetros microbiológicos	Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	13	170	7	13	75.9231	170	4.8824	7	141.8571
	Huevos de helmintos	Huevos/L	1	<1	<1	<1	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			0			Sumatoria MUESTRA 01:	2023.8535	Sumatoria MUESTRA 02:	1062.7191	Sumatoria MUESTRA 03:	852.3740
	Número total de parámetros a evaluar			17			SUMATORIA TOTAL MUESTRA 01, MUESTRA 02 y MUESTRA 03:			3938.9465		
	Número total de datos que no cumplen el ECA			0								
	Número total de datos			51								
F1				0								
F2				0								
Sumatoria Normalizada de excedentes				77.23								
F3				98.72								
ICA				43.00								
VALOR DE TABLA				Malo								

Excedentes positivos

Excedentes negativo

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría

En la tabla 25 se muestra la plantilla de calculo que fue diseñada en una hoja de cálculo en Microsoft Excel para la determinación del Índice de Calidad del Agua para Perú (ICA-PE) para la microcuenca Ccatccamayo, donde se ingresó los datos: de los 03 puntos de muestra de la microcuenca, resultados de las muestras (resultados del laboratorio) y los valores establecidos en los ECA – A de la categoría 3 D1, con los cuales se realizó la evaluación de cada parámetro. Donde el "Número de parámetros que NO cumplen" es 0 porque ninguno de los parámetros evaluados excede los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- subcategoría D1, el "Número total de parámetros a evaluar" son 17 parámetros, el "Número total de datos que no cumplen el ECA" es 0 porque no se muestra ninguno de los datos que excedan los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- D1, el "Número total de datos" es 51 que son los datos en total de los 03 puntos de muestreos de la microcuenca. Entonces para realizar el cálculo del factor F_1 se utilizó la ecuación 1.

Tabla 26

Determinación del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Factor F1de los ECA-A Cat.3-D1 de la Microcuenca Ccatccamayo
$\mathrm{F}_1 = \frac{0}{17} = 0$

Para el cálculo del factor F_2 se utilizó la ecuación 2:

Tabla 27

Cálculo del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Factor F2 de los ECA-A Cat.3-D1 de la Microcuenca Ccatccamayo
$F_2 = \frac{0}{51} = 0$

Para el cálculo del factor F_3 se empleó la siguiente formula donde se determinó por la suma normalizada de excedentes, en la tabla 25 se muestra el "valor excedente de cada parámetros respecto al valor establecido en el ECA-AGUA Cat.3-D1" donde se observa en la tabla que en su totalidad de cada parámetro son excedentes negativos donde se aplicó la ecuación 3.

Se realizó la suma total de los excedentes negativos de las tres muestras. Para obtener el valor de la sumatoria normalizada de excedentes se utilizó la ecuación 4.

Según la formula la sumatoria normalizada de toda la Microcuenca Ccatccamayo tiene un valor de: 77.23.

Para el cálculo del factor F_3 se utilizó la ecuación 5:

Tabla 28

Cálculo del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo..

Factor F3 de ECA-A Cat.3-D1 de la Microcuenca Ccatccamayo

$$F_3 = \left(\frac{77.23}{77.23 + 1}\right) * 100$$

$$F_3 = \left(\frac{77.23}{78.23}\right) * 100$$

$$F_3 = (0.98) * 100$$

$$F_3 = 99.72$$

Para determinar el valor ICA-PE de toda la microcuenca Ccatccamayo se utilizó la ecuación 6:

Tabla 29

Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Valor del ICA-PE de los ECA-A Cat.3-D1 de la Microcuenca Ccatccamayo

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (99.72)^2}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,745.63}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,248.54}$$

$$ICA - PE = 100 - 56.99 = 43$$

Según la tabla 25 y la tabla 29 se muestra que el valor del ICA-PE de toda la Microcuenca Ccatccamayo para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D1, tenemos el valor del ICA-PE que es: 43.

Tabla 30

Cálculo de los factores que comprenden la ecuación del ICA-PE, para los ECA-A Categoria 3- subcategoría D2 de la microcuenca Ccatccamayo.

PUNTOS DE MONITOREO				Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	VALOR EXCEDENTE DE CADA PARÁMETRO RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO EN EL ECA-AGUA Cat.3-D2					
Parámetros		**Unidad**	**ECA Cat.3-D2**	**Resultados**	**Resultados**	**Resultados**	**Excedentes muestra 01**		**Excedentes muestra 02**		**Excedentes muestra 03**	
Parámetros físicos-químicos	Cloruros	mg/L	**	1.78	8.42	2.81						
	Conductividad (CE)	µS/cm	5000	130.9	294	240	130.9	37.1971	294	16.0068	240	19.8333
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15	8.2	<2.0	7.3	8.2	0.8293	2	6.5000	7.3	1.0548
	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 5	5.5	5.7	5.9						
	Potencia de hidrogeno (Ph)	Unid. de pH	6,5 – 8,4	7.74	7.79	7.66						
Parámetros inorgánicos	Aluminio (Al)	mg/L	5	0.1192	0.0475	0.1945	0.1192	40.9463	0.0475	104.2632	0.1945	24.7069
	Arsénico (As)	mg/L	0.2	<0.00100	0.00101	0.00105	0.001	199.0000	0.00101	197.0198	0.00105	189.4762
	Boro (B)	mg/L	5	<0.0010	0.0157	0.0172	0.001	4999.0000	0.0157	317.4713	0.0172	289.6977
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	<0.00020	<0.00020	<0.00020	0.0002	249.0000	0.0002	249.0000	0.0002	249.0000
	Cobre (Cu)	mg/L	0.5	0.00101	0.00094	0.00193	0.00101	494.0495	0.00094	530.9149	0.00193	258.0674
	Hierro (Fe)	mg/L	**	0.4274	0.27	0.2351						
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.080998	0.033095	0.116406	0.080998	1.4692	0.033095	5.0432	0.116406	0.7181

	Mercurio (Hg)	mg/L	0.01	<0.000100	<0.000100	<0.000100	0.0001	99.0000	0.0001	99.0000	0.0001	99.0000
	Plomo (Pb)	mg/L	0.05	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0.001	49.0000	0.001	49.0000	0.001	49.0000
	Zinc (Zn)	mg/L	24	0.010258	0.005261	0.017034	0.010258	2338.6374	0.005261	4560.8704	0.017034	1407.9468
Parámetros microbiológicos	Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	13	170	7	13	75.9231	170	4.8824	7	141.8571
	Huevos de helmintos	Huevos/L	**	<1	<1	<1						

Sumatoria MUESTRA 01:	8584.0518	Sumatoria MUESTRA 01:	6139.9719	Sumatoria MUESTRA 01:	2730.3584
SUMATORIA TOTAL MUESTRA 01, MUESTRA 02 y MUESTRA 03:				17454.3821	

Datos	Número de parámetros que NO cumplen: 0
	Número total de parámetros a evaluar: 14
	Número total de datos que no cumplen el ECA: 0
	Número total de datos: 42
F1	0
F2	0
Sumatoria Normalizada de excedentes	415.58
F3	99.76
ICA	42.40
VALOR DE TABLA	Malo

Excedentes positivos

Excedentes negativo

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría

En la tabla 30 se muestra la plantilla de calculo que fue diseñada en una hoja de cálculo en Microsoft Excel para la determinación del Índice de Calidad del Agua para Perú (ICA-PE) para la microcuenca Ccatccamayo, donde se ingresó los datos: de los 03 puntos de muestra de la microcuenca, resultados de las muestras (resultados del laboratorio) y los valores establecidos en los ECA – A de la categoría 3 D2, con los cuales se realizó la evaluación de cada parámetro. Donde el "Número de parámetros que NO cumplen" es 0 porque ninguno de los parámetros evaluados excede los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- subcategoría D2, el "Número total de parámetros a evaluar" son 14 parámetros, el "Número total de datos que no cumplen el ECA" es 0 porque no se muestra ninguno de los datos que excedan los límites máximos permisibles establecidos para el ECA-A Categoría 3- D2, el "Número total de datos" es 42 que son los datos en total de los 03 puntos de muestreos de la microcuenca. Entonces para realizar el cálculo del factor F_1 se utilizó la ecuación 1:

Tabla 31

Cálculo del factor F1, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Factor F1de los ECA-A Cat.3-D2 de la Microcuenca Ccatccamayo
$\mathrm{F}_1 = \frac{0}{14} = 0$

Para el cálculo del factor F_2 se utilizó la ecuación 2:

Tabla 32

Determinación del factor F2, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Factor F2 de los ECA-A Cat.3-D2 de la Microcuenca Ccatccamayo
$F_2 = \frac{0}{42} = 0$

Para el cálculo del factor F_3 se utilizó la ecuación 3 donde se determinó el valor de la suma normalizada de excedentes, en la tabla 30 se muestra el "valor excedente de cada parámetros respecto al valor establecido en el ECA-agua Cat.3-D2" donde se observa en la tabla que en su totalidad de cada parámetro son excedentes negativos y se utilizó la ecuación 3.

Para obtener el valor de la sumatoria normalizada de excedentes se utilizó la ecuación 4.

La sumatoria normalizada de excedentes de toda la Microcuenca Ccatccamayo tiene un valor de: 415.58

Para calcular el valor de F_3 se utilizó la ecuación 5:

Tabla 33

Cálculo del factor F3, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Factor F3 de ECA-A Cat.3-D2 de la Microcuenca Ccatccamayo
$F_3 = \left(\frac{415.58}{415.58 + 1}\right) * 100$
$F_3 = \left(\frac{415.58}{416.58}\right) * 100$
$F_3 = (0.99) * 100$
$F_3 = 99.76$

Para el cálculo del ICA-PE de toda la microcuenca Ccatccamayo se utilizó la ecuación 6:

Tabla 34

Cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE, para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2 de la Microcuenca Ccatccamayo.

Valor del ICA-PE de los ECA-A Cat.3-D2 de la Microcuenca Ccatccamayo
$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (99.76)^2}{3}}$
$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9\,952.05}{3}}$
$ICA - PE = 100 - \sqrt{3\,317.35}$
$ICA - PE = 100 - 57.60 = 42.40$

Según la tabla 30 y la tabla 34 se muestra que el valor del ICA-PE de la Microcuenca Ccatccamayo para los ECA-A Categoría 3- subcategoría D2, tenemos el valor del ICA-PE que es: 42.40

Tabla 35

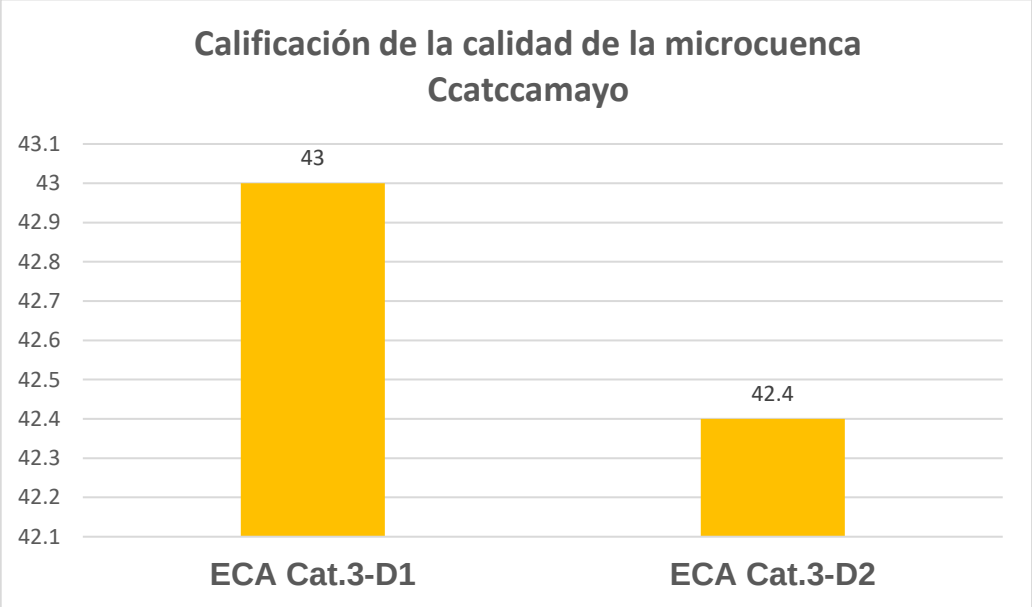
Monitoreo y calificación de la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo según el ICA-PE

Monitoreo del 9 de febreo de la Microcuenca Ccatccamayo - Época Húmeda

N°	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE		
		ECA Cat.3-D1	ECA Cat.3-D2	
1	Rio Ccatccamyo	43	42.40	MALO

Figura 6

Calificación de la calidad de agua de la microcuenca Ccatccamayo



Según las tablas 25, 30 y la figura 6, se muestra el valor ICA-PE de los ECA-A de la Cat. 3 D1 y D2 de la Microcuenca Ccatccamayo y según la interpretación de la tabla 23 se determinó que el valor para la Cat.3 D1 es 43 y para la Cat.3 D2 es 42.40 la cual se califica el estado de la calidad de agua de toda la microcuenca Ccatccamayo como “Malo”.

5.2 Prueba de hipótesis

Tabla 36

Regla de decisión ANOVA

Regla de decisión	
P – valor	Valor crítico
Rechazar H0 si p<α	Rechazar H0 si F>FC

5.2.1 Prueba de hipótesis especifica 1:

H_1: Los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos evaluados en la microcuenca Ccatccamayo cumplen con los valores establecidos en los ECA-Agua correspondientes a la categoría y subcategoría asignada al cuerpo de agua.

H_0: Los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos evaluados en la microcuenca Ccatccamayo no cumplen con los valores establecidos en los ECA-Agua correspondientes a la categoría y subcategoría asignada al cuerpo de agua.

Tabla 37

Resumen de contrastación de la hipótesis específica 1, para la Cat. 3 D1(ANOVA)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	142866.1	16	8929.13123	9.81236373	1.7317E-08	1.95156582
Dentro de los grupos	30939.585	34	909.987794			
Total	173805.685	50				

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la tabla 37 evidencian el valor F obtenido fue de 9.81236373 y el valor p fue 0.0000000173169, muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos analizados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos para la categoría 3 D1. Según la regla de decisión para p-valor (0.000000017<0.05) p: es menor que α (5%) significa que se rechaza la hipótesis nula. Para el valor critico (9.81>1.95), F es mayor que valor crítico para F, significa que se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 38

Resumen de contrastación de la hipótesis específica 1, para la Cat. 3 D2 (ANOVA)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	139913.719	13	10762.5938	9.74808825	3.15E-07	2.08892935
Dentro de los grupos	30914.0231	28	1104.07225			
Total	170827.742	41				

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la tabla 38 evidencian el valor F obtenido fue de 9.74808825 y el valor p fue 0.000000315, muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos

analizados de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos para la categoría 3 D2. Según la regla de decisión para p-valor (0.000000315<0.05) p: es menor que α (5%) significa que se rechaza la hipótesis nula. Para el valor critico (9.74>2.08), F es mayor que valor crítico para F, significa que se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, según tabla 37 y 38 para la hipótesis especifica 1 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

5.2.2 Prueba de hipótesis especifica 2:

H_1: Existen diferencias relevantes entre los valores del ICA-PE obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo.

H_0: No existen diferencias relevantes entre los valores del ICA-PE obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca Ccatccamayo.

Tabla 39

Resumen de contrastación de la hipótesis específica 2 (ANOVA)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.19413333	2	0.09706667	0.4156734	0.69287467	9.5520945
Dentro de los grupos	0.70055	3	0.23351667			
Total	0.89468333	5				

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la tabla 39 evidencian el valor F obtenido fue de 0.4156734 y el valor p fue 0. 69287467, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre cada punto de muestra ya que el valor del ICA-PE se encuentra entre el rango de 30 a 44. Según la tabla 36 la regla de decisión para p-valor (0.69<0.05) p: no es menor que α (5%) significa que no se rechaza la hipótesis nula. Para el valor critico

(0.41>9.55), F no es mayor que valor crítico para F, significa que no se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, para la hipótesis especifica 2 se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula.

5.2.3 *Prueba de hipótesis* general:

H_1: La calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, evaluada mediante el ICA-PE, presenta diferentes niveles de calidad en los puntos de muestreo, permitiendo su clasificación en distintas categorías

H_0: La calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, evaluada mediante el ICA-PE, no presenta diferencias en los puntos de muestreo, clasificándose en una sola categoría.

Tabla 40

Resumen de contrastación de la hipótesis general (ANOVA)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.19413333	2	0.09706667	0.4156734	0.69287467	9.552094496
Dentro de los grupos	0.70055	3	0.23351667			
Total	0.89468333	5				

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la tabla 40 evidencian el valor F obtenido fue de 0.4156734 y el valor p fue 0. 69287467, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados. Según la tabla 36 la regla de decisión para p-valor (0.69<0.05) p: no es menor que α (5%) significa que no se rechaza la hipótesis nula. Para el valor critico (0.41>9.55), F no es mayor que valor crítico para F, significa que no se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, para la hipótesis general se acepta la hipótesis nula.

5.3 Discusión

Al analizar a fondo lo que está pasando en la microcuenca Ccatccamayo, nos topamos con una realidad bien conocida en la gestión de recursos hídricos, pero que pocas veces se demuestra con tanta claridad en una tesis: el peligro de evaluar un río mirando los parámetros por separado. Si revisamos los análisis de laboratorio de los tramos alto, medio y bajo (Ccopi, Qollana Ccatccapampa y Sacsayhuaman), la primera impresión es que todo está bajo control, ya que cada uno de los 17 parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos cumple con los límites individuales que exige el estándar nacional para riego y bebida de animales (ECA-agua Cat. 3 D1 y D2). Sin embargo, el verdadero panorama salta a la vista cuando cruzamos estos mismos datos usando la fórmula del ICA-PE. Ahí, el índice global cae de forma drástica y se sitúa entre los 42 y 43 puntos, lo que califica al agua como "mala" de principio a fin de la microcuenca.

¿A qué se debe este choque entre lo que dice la norma y lo que dice el índice? La explicación está en cómo funciona la matemática del ICA-PE (R.J. N.° 068-2018-ANA). Como ningún parámetro superó el tope legal de forma aislada, los factores de alcance (F1) y frecuencia (F2) se quedaron en cero. Pero el tercer factor, el de amplitud (F3), que mide qué tan cerca o lejos se está del estado ideal sumando los excedentes negativos, se disparó casi al límite en todas las muestras (rozando valores entre 98 y 99). Al promediar estos tres componentes en la raíz cuadrada de la fórmula, el peso de la amplitud arrastró por completo el resultado final hacia abajo.

Esto nos demuestra que, aunque la microcuenca no esté sufriendo una contaminación aguda o tóxica que rompa la ley en un punto específico, sí padece

un desgaste crónico generalizado. La acumulación de pequeñas alteraciones, provocadas por la ganadería intensiva, la crianza de cuyes y los vertimientos de aguas residuales domésticas del distrito de Ccatcca, termina rompiendo el equilibrio del ecosistema hídrico. Nos enfrentamos a un escenario donde la microcuenca va perdiendo su capacidad de resiliencia de forma silenciosa, un problema que los monitoreos tradicionales de "marcar casillas" simplemente no logran detectar.

Este fenómeno de degradación sutil pero constante encaja perfectamente con lo que Vinueza (2023) descubrió en la microcuenca del río Cinto en Ecuador. Allí también se demostró que un índice integrado tiene mucha más capacidad para mapear el estrés real de una cuenca influenciada por actividades agropecuarias y rurales que la simple revisión de datos sueltos en una tabla. Al igual que en Ccatccamayo, las presiones del territorio no se manifiestan en un solo gran contaminante, sino en el impacto acumulado de muchas variables que van mermando la salud del cuerpo de agua a lo largo de su recorrido.

De igual modo, la constante de "mala calidad" que hallamos en los tres tramos le da la razón a Ramos et al. (2023) en su estudio comparativo del río Locumba. Ramos dejó claro que el ICA-PE es una herramienta sumamente estricta y protectora - mucho más que índices extranjeros como el clásico WQI-NSF - porque está diseñada específicamente para castigar la degradación crónica que sufren nuestros ríos andinos, integrando el peso de la amplitud para no dejar pasar por alto los impactos difusos que la normativa tradicional tiende a maquillar.

Por eso, esta investigación da un salto científico importante respecto a los monitoreos ambientales convencionales, como el que hicieron Guerrero et al. (2022) en el río Challhuahuacho, donde la evaluación no pasó de una simple

comparación de datos de laboratorio frente a la ley. Si nos hubiésemos quedado en ese análisis plano, la conclusión errónea habría sido que el agua de la microcuenca Ccatccamayo está en un estado óptimo y seguro. Hoy la tesis demuestra con rigor científico que el recurso está bajo amenaza real y que las comunidades rurales necesitan aplicar medidas de control, protección de riberas y tratamiento antes de utilizarla para sus actividades productivas.

Para cerrar, hay que destacar un punto clave: la falta de estudios previos en esta microcuenca, lejos de ser un obstáculo, convierte a este trabajo en la línea base ambiental de Ccatcca. Como no existen datos históricos ni series temporales para ver cómo ha cambiado la microcuenca con los años, esta tesis pasa a ser el primer antecedente técnico oficial y fundacional de la zona. No estamos ante un simple ejercicio de escritorio; son datos reales, respaldados por una cadena de custodia estricta, equipos calibrados en campo e informes de un laboratorio acreditado (INACAL LE-096). A partir de ahora, cualquier plan de ordenamiento territorial, proyecto de infraestructura de riego o estrategia de salud pública en esta parte de la provincia de Quispicanchi tendrá que tomar estos resultados como su punto de partida obligatorio.

VI. Conclusiones

Se evaluó la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo mediante la aplicación de la metodología del ICA-PE, que tiene una calificación de calidad de agua “mala”.

A partir de los resultados emitidos por el laboratorio, se establecieron los valores de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos evaluados. Al compararlos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM, se verificó que estos se encuentran dentro de los límites correspondientes a la Categoría 3, que incluye las subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales)

Al aplicar la metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE en los tres tramos analizados (muestra01, muestra 02 y muestra 03), se obtuvo los valores para los ECA Cat. 3 D1 para la muestra 01: 42.75, en la muestra 02: 43.17 y en la muestra 03: 43.39. Para los ECA Cat. 3 D2 para la muestra 01 fue: 42.36, muestra 02: 42.40, muestra 03: 42.59, evidenciando la calidad de agua “Mala” (rango 30-44) según la metodología ICA-PE.

En cuanto a la calificación del ICA-PE de la microcuenca Ccatccamayo los resultados obtenidos en los 03 punto de muestra, tienen una calificación de calidad de agua “mala” la cual significa que el agua no alcanza los niveles de calidad esperados, ya que sus condiciones naturales se ven afectadas de manera recurrente. Por esta razón, su aprovechamiento para distintos fines puede requerir un tratamiento previo que permita mejorar sus características

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua de Perú (ICA-PE), se concluye que los tres tramos evaluados de la microcuenca Ccatccamayo presentan una clasificación dentro de la categoría ‘mala’. En consecuencia, no se identificaron diferencias relevantes que permitan establecer un tramo con mejor o peor calidad de agua.

VII. Recomendaciones

Para próximas investigaciones, se recomienda ampliar el número de muestras recolectadas, con el fin de contar con información más completa sobre las condiciones del área evaluada y monitoreo en temporadas distintas del año, para tener un mejor análisis de los parámetros de la microcuenca Ccatccamayo.

Se recomienda promover investigaciones en salud ambiental y salud pública para identificar riesgos potenciales asociados a la calidad del agua de la microcuenca Ccatccamayo, a fin de prevenir enfermedades en la población.

Se recomienda a futuro, que para mejorar el índice de calidad del agua del rio Ccatccamayo, se realicen estudios de tratamientos de aguas residuales.

Se recomienda implementar medidas integrales de manejo ambiental y control de contaminantes en la microcuenca Ccatccamayo, orientadas principalmente a las actividades agropecuarias predominantes de la zona, como la crianza de cuyes y ganado vacuno, la producción de lácteos y queso, así como el cultivo andino. Asimismo, se recomienda promover buenas prácticas agrícolas, como el uso racional de fertilizantes y agroquímicos, la implementación de barreras vegetales y franjas ribereñas de protección, y programas de capacitación ambiental para los pobladores y productores locales. Estas medidas contribuirán a reducir la contaminación difusa y mejorar progresivamente la calidad del agua en la microcuenca Ccatccamayo.

VIII. Referencias

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2019). *Agua*. Obtenido de https://19january2021snapshot.epa.gov/espanol/agua_.html

ANA. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú (ICA-PE).* Obtenido de https://www.ana.gob.pe/publicaciones/metodologia-para-la-determinacion-del-indice-de-calidad-de-agua-ica-pe-aplicado-los

ANA. (2021). *"Diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la unidad hidrográfica Urubamba" .* Obtenido de https://crhc.ana.gob.pe/urubamba/ambito-de-gestion/calidad-de-agua

Atencio, H. (2018). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción localen la población de la localidad de San Antonio de Rancas, del distrito de Simón Bolívar,provincia y región Pasco*. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/428/1/T026_70776177_T.pdf

Autoridad Nacional del Agua. (abril de 2024). *XIV Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial.* Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/931001-cusco-ana-realiza-monitoreo-participativo-de-calidad-del-agua-en-cuenca-alto-apurimac?utm_source

Carbotecnia. (s.f.). *Conductividad en el agua*. Obtenido de https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-es-la-conductividad-en-el-agua/

Díaz Vizcardo, R. A. (2024). *Calidad de agua superficial en la microcuenca Ananea, Puno y su relación con la actividad minera.* Obtenido de Universidad Nacional Federico Villarreal: file:///C:/Users/User/Downloads/D%C3%ADaz%20Vizcardo,%20Rodrigo%20Alonso%20(FIGAE%20-%20T%C3%ADtulo%20profesional).pdf

Dirección General de Salud Ambiental (Ministerio de Salud). (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*.

Environmental Protection Agency (EPA). . (2022). *pH.* Obtenido de https://www.epa.gov/caddis/ph

Espinoza Salvatierra, J. C. (2021). *Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial del río Ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica, 2021.* Obtenido de https://repositorio.unh.edu.pe/items/a048a529-a007-4b36-99dc-f7b1bea2411f

FAO. (2017). *Gestión de cuencas hidrográficas.* Obtenido de https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/watershed-management/basic-knowledge/es/

Fernández Cirelli, A. (diciembre de 2012). *El agua: un recurso esencial*. Obtenido de Química Viva, vol. 11: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002

Fernandez, & Solano, F. (2005). *Índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICO) del agua de importancia mundial.* Obtenido de Universidad de Pamplona

Gil-Mora, J. E. (2022). *Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.* Obtenido de https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1765

Guerrero Baca Shori, C. N. (2022). *Evaluación de la calidad del agua del río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac - 2022.* Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/24b17e7b-b8de-4003-b1c9-1e5ab03dc79a/content

Hernandez, R. (2014). Metodologia de la Investigacion - Sexta edición. En *Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio,descriptivo, correlacional o explicativo* (págs. 88 -96). Mexico.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación. 6.ed. México: McGraw-Hill, 2018.* Obtenido de 6ta edicion

Laboratorios Nanolab. (2023). *Determinación de cloruro en agua*. Obtenido de https://www.nanolaboratuvar.com/es/blog/detail/determinacin-de-cloruro-en-agua#:~:text=El%20cloruro%2C%20el%20estado%20de,de%20cloruro%20son%20los%20siguientes.&text=Al%20mismo%20tiempo%2C%20el%20Ministerio,para%20la%20Determinaci%C3%B3n%20de%20Cloruros.

López, T. V. (2021). *Calidad de agua del Arroyo Guazú del Departamento Central evaluada mediante indicadores biológicos, parámetros fisicoquímicos,.* Obtenido de https://revistascientificas.una.py/index.php/rdgic/article/view/964?utm_source

Mays Grados, D. Y. (2026). *Calidad del agua para consumo poblacional de las fuentes de agua San Pedro de Cani y San Pablo de Lanjas, distrito de Quisqui (kichki) – Huánuco.* Obtenido de https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9a9dfba2-b0a5-4b0a-a161-78888e6488ec/content

MINAM. (2017). *Ley General del Ambiente (Ley N.° 28611).DS-004-2017-MINAM*. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

ONU. (31 de AGOSTO de 2016). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) advierte sobre el incremento de la contaminación de las aguas en Asia, África y América Latina*. Obtenido de https://news.un.org/es/story/2016/08/1363511

Paucar Peñaranda, C. D. (2023). *Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) caso de estudio:río jubones, Ecuador.* Obtenido de https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6953/10570

Ramos Montesinos, M. A. (2023). *Análisis comparativo del desempeño del índice ICA-PE y el índice WQI-NSF en el río Locumba.* Obtenido de https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2759

Rosero Torres, J. E. (Octubre de 2021). *“Estudio físico-químico de la calidad de agua del río Tahuando Mediante el cálculo del índice ICA”.* Obtenido de https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f309947a-cf3b-4542-9e64-7074abb48b94/content

Tarapa Poma, W. (2023). *Calidad ambiental del agua en la bahía interior de Puno—Lago Titicaca 2021.* Obtenido de https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14891/523/Wilson_TARAPA_POMA.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Tobar, J. (2011). *La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales.* Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations- FAO.

Vásquez Ramírez Abbon Alex, G. O. (2023). *Métodos de investigación científica.* Obtenido de https://doi.org/10.35622/inudi.b.094

Villena Chávez, J. A. (2018). *Calidad del agua y desarrollo sostenible*.

Vinueza Chamorro, N. J. (2023). *Determinación del índice de calidad de agua en la microcuenca del "Río Cinto" mediante los parámetros del ICA en el sector de Lloa, cantón Quito, 2023.* Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27136

Viviana Sánchez, Y. S. (2022). *Calidad de las aguas superficiales del río San Pablo-Los Ríos, para riego de cultivos agrícolas.* Obtenido de https://horizonnexusjournal.editorialdoso.com/index.php/home/article/view/64?articlesBySimilarityPage=3

Los anexos, panel fotográficos y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica delos Andes.