

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de
riego del río Pongora. Ayacucho, 2022**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÓNOMA

PRESENTADO POR:

Bach. Rosbeth ASTOPILLO VARGAS

ASESOR:

Dr. Raúl José PALOMINO MARCATOMA

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza, sabiduría e inspiración en todo el proceso de mi formación académica, y así culminar mi carrera profesional.

Con inmenso amor y eterna gratitud a mis padres Pedro y Leoncia, por haberme brindado cariño, comprensión y apoyo incondicional.

A mis hermanas; Keli y Nayeli quienes contribuyeron incondicionalmente a lograr mis metas y objetivos, por sus consejos, y por motivarme siempre para ser una gran persona.

Rosbeth Astopillo Vargas

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias en especial a la Escuela Profesional de Agronomía por brindarme las herramientas necesarias para mi desenvolvimiento profesional.

Al Dr. Raúl José Palomino Marcatoma, por su asesoramiento y brindarme su tiempo para la realización y culminación de este trabajo.

A los miembros del Jurado, presidida por el M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez e integrada por los maestros Ing. Juan Benjamín Girón Molina y Dr. Juan Charapaqui Anccasi por sus aportes en la realización de este trabajo de investigación.

A mis maestros de la Escuela Profesional de Agronomía quienes aportaron durante toda mi formación profesional con enseñanzas y consejos día a día.

De igual manera, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, hermanas, amigos y a todas las personas que estuvieron presentes durante este proceso. Sus palabras de aliento, consejos, sugerencias y apoyo fueron importantes para seguir adelante y culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	6
I. MARCO TEÓRICO	6
1.1. Antecedentes de la investigación	6
1.2. Contaminación del agua	11
1.2.1. Origen y fuentes de contaminación del agua.	12
1.2.2. Principales contaminantes	16
1.2.3. Contaminación del agua de riego	18
1.2.4. Prevención de la contaminación del agua	20
1.3. Concepto de calidad de Agua	23
1.3.1. Índice de calidad de agua	24
1.3.2. Calidad del Agua de riego	26
1.3.3. Parámetros a evaluar en el ICA-PE	27
1.4. Metales pesados	28
1.4.1 Plomo (Pb)	31

1.4.2	<i>Cromo (Cr)</i>	32
1.4.3	<i>Cadmio (Cd)</i>	33
1.5.	Especiación química de metales pesados	34
CAPÍTULO II		35
METODOLOGÍA		35
2.1.	Ubicación de la zona en estudio	35
2.2.	Delimitación de los puntos de muestreo	37
2.3.	Muestreo del agua	37
2.3.1.	<i>Lugares de muestreo</i>	37
2.3.2.	<i>Protocolo de análisis de metales pesados en el laboratorio</i>	40
a.	Materiales y equipos	40
b.	Reactivos	41
c.	Material de Vidrio	41
2.3.3.	<i>Protocolo en el Tratamiento de la Muestra</i>	41
2.3.4.	<i>Procedimiento de preparación de estándares para la curva de calibración</i>	43
2.3.5.	<i>Procedimiento de análisis</i>	43
2.3.6.	<i>Medición de variables físicas y químicas</i>	44
a.	Temperatura	44
b.	Turbidez	45
c.	Sólidos Suspendidos Totales	45
d.	Conductividad eléctrica	46
e.	pH	47
f.	Metales pesados (Plomo, Cadmio, Cromo)	48
2.4	Procedimiento para la determinación del índice de calidad del agua (ICA) del río Pongora	49
2.4.1	<i>Límites máximos permisibles de los parámetros físicos y químicos del agua de riego</i>	49

2.4.2	<i>Determinación de los factores del ICA – PE</i>	50
a.	F1 – Alcance	50
b.	F2 – Frecuencia	50
c.	F3 – Amplitud	50
d.	Determinación del ICA – PE del agua	51
CAPÍTULO III		53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		53
3.1	Características físicas y químicas del agua del río Pongora en la época de estiaje	53
3.1.1	<i>Características físicas del agua del río Pongora en la época de estiaje</i>	53
3.1.2	<i>Características químicas del agua del río Pongora en la época de estiaje</i>	58
3.1.3	<i>Concentración de metales pesados en el agua del río Pongora en la época de estiaje</i>	62
3.1.3.1	Cadmio en el agua del río Pongora en la época de estiaje.	62
3.1.3.2	Cromo en el agua del río Pongora en la época de estiaje.	63
3.1.3.3	Plomo en el agua del río Pongora en la época de estiaje.	64
3.2	Características físicas y químicas de las muestras de agua en la época de lluvia	65
3.2.1	<i>Características físicas del agua del río Pongora en la época de lluvia</i>	65
3.2.2	<i>Características químicas de las muestras de agua – Época de lluvia</i>	70
3.2.3	<i>Concentración de metales pesados en el agua del río Pongora en la época de lluvia</i>	76
3.2.3.1	Cadmio en el agua del río Pongora en la época de lluvia.	76
3.2.3.2	Cromo en el agua del río Pongora en la época de lluvia.	78
3.2.3.3	Plomo en el agua del río Pongora en la época de lluvia.	80
3.3	Índice de Calidad del Agua de riego del río Pongora	82
3.3.1	<i>Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de estiaje</i>	82
3.3.2	<i>Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de lluvia</i>	85
3.4	Propuestas para reducir los niveles de cadmio y turbidez en el agua de riego del río Pongora	89

3.4.1 Para reducir el cadmio (Cd)	89
3.4.2 Para reducir la turbidez	90
CAPÍTULO IV	91
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	93
ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipo y origen de contaminación de los recursos hídricos en el Perú.	15
Tabla 2 Interpretación de la calificación ICA – PE.....	28
Tabla 3 Identificación mediante coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	38
Tabla 4 Límites máximos permisibles de los parámetros físicos y químicos del agua de riego	49
Tabla 5 Temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) del río de la microcuenca Pongora en la época de estiaje.....	53
Tabla 6 Atributos químicos del agua del río Pongora en la época de estiaje	59
Tabla 7 Información de la temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales del río de la microcuenca Pongora de la época de lluvia.	65
Tabla 8 Atributos químicos del agua del río Pongora en la época de lluvia	70
Tabla 9 Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de estiaje.....	83
Tabla 10 Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de lluvia.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación general de la microcuenca del río Pongora.....	36
Figura 2 Ubicación de la microcuenca del río Pongora	36
Figura 3 Ubicación de puntos de muestreo del río Pongora.	39
Figura 4 Esquema general del tratamiento de muestra tomado.....	42
Figura 5 Temperatura del agua del río Pongora en la época de estiaje	54
Figura 6 Turbidez del agua del río Pongora en la época de estiaje.	55
Figura 7 Sólidos suspendidos totales (SST) del río Pongora en la época de estiaje.	57
Figura 8 pH del agua del río Pongora en la época de estiaje.....	60
Figura 9 Conductividad eléctrica del agua del río Pongora en la época de estiaje	61
Figura 10 Concentración de cadmio en el agua del río Pongora en la época de estiaje	62
Figura 11 Temperatura del agua del río Pongora en la época de lluvia.	66
Figura 12 <i>Turbidez del agua del río Pongora en la época de lluvia</i>	67
Figura 13 Sólidos suspendidos totales del agua del río Pongora en la época de lluvia.....	69
Figura 14 <i>pH del agua del río Pongora en la época de lluvia</i>	71
Figura 15 Conductividad eléctrica del agua del río Pongora en la época de lluvia.....	73
Figura 16 Concentración de cadmio en el agua del río Pongora en la época de lluvia	77
Figura 17 <i>Concentración de cromo en el agua del río Pongora en la época de lluvia</i>	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Equipo de investigación.	99
Anexo 2. Muestreo del agua del río Pongora en época seca.	99
Anexo 3. Muestreo del agua del río Pongora en época lluviosa.	100
Anexo 4. Medición de la temperatura del agua del río Pongora en época seca.	100
Anexo 5. Medición de la temperatura del agua del río Pongora en época lluviosa.	101
Anexo 6. Preparación de materiales para la digestión del agua en el laboratorio de suelos.	101
Anexo 7. Procedimiento de digestión del agua lentamente hasta que el volumen disminuya a 10 – 20 mL.	102
Anexo 8. Aforado en una fiola a 50mL con agua destilada y envasado de muestras de agua.	102
Anexo 9. Muestras envasadas de agua de río Pongora.	103
Anexo 10. Procesos de la digestión del agua.	104
Anexo 11. Resultados de los análisis del agua del río Pongora de la época de estiaje.	105
Anexo 12. Resultados de los análisis del agua del río Pongora de la época de lluvia.	106
Anexo 13. Ubicación de los puntos del muestreo del río Pongora.	107
Anexo 14. Resultados y descripción de los puntos de muestreo de los análisis del agua del río Pongora de la época de estiaje.	108
Anexo 15. Resultados y descripción de los puntos de muestreo de los análisis del agua del río Pongora de la época de lluvia.	109
Anexo 16. Cálculo del ICA -PE del agua de río Pongora de la época de estiaje y lluvia.	110

RESUMEN

La calidad del agua de riego constituye un factor fundamental para el desarrollo sostenible de la actividad agrícola, debido a su influencia sobre la productividad de los cultivos, la conservación del suelo y la salud ambiental. La microcuenca del río Pongora, en Ayacucho, está influenciada por actividades antrópicas que pueden alterar las condiciones fisicoquímicas del agua y su aptitud para el uso agrícola. El estudio tuvo como objetivo evaluar las variables físicas y químicas del agua de riego y determinar su influencia en el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE). Se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental. Se evaluaron once puntos de muestreo durante las épocas de estiaje y lluvias. Las variables analizadas fueron temperatura, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), pH, conductividad eléctrica (CE), cadmio, cromo y plomo. Los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) y utilizados para calcular el ICA-PE, permitiendo establecer la condición del recurso hídrico y su calidad para fines agrícolas. Los resultados evidenciaron que la temperatura osciló entre 10,5 y 21,6 °C en estiaje y entre 6,1 y 16,5 °C en lluvias. La turbidez varió entre 1,02 y 15,9 NTU durante el estiaje y entre 3,51 y 18,7 NTU en lluvias, mientras que los SST alcanzaron valores de 35,6 a 81,3 mg L⁻¹ y de 65,2 a 545,5 mg L⁻¹, respectivamente. El pH registró valores entre 7,01 y 7,31 y la CE entre 187 y 846 µS cm⁻¹. Asimismo, se detectaron concentraciones de cadmio y cromo que superaron los límites establecidos por la normativa vigente en determinados puntos de monitoreo, mientras que el plomo no fue detectado. El ICA-PE alcanzó valores de 77,35 en época de lluvia y 83,86 en época de estiaje, clasificando el agua en la categoría “Buena”. Se concluye que el agua del río Pongora presenta condiciones adecuadas para riego agrícola; sin embargo, la presencia de metales pesados evidencia la necesidad de implementar programas permanentes de monitoreo y gestión ambiental.

Palabras clave: calidad del agua, agua de riego, ICA-PE, metales pesados, río Pongora, Ayacucho.

ABSTRACT

The quality of irrigation water is a fundamental factor for the sustainable development of agricultural activity due to its influence on crop productivity, soil conservation, and environmental health. The Pongora River micro-basin in Ayacucho is influenced by human activities that can alter the physicochemical conditions of the water and its suitability for agricultural use. This study aimed to evaluate the physical and chemical variables of irrigation water and determine their influence on the Water Quality Index (WQI). It was conducted using a quantitative approach, a descriptive level, and a non-experimental design. Eleven sampling points were evaluated during the dry and rainy seasons. The variables analyzed were temperature, turbidity, total suspended solids (TSS), pH, electrical conductivity (EC), cadmium, chromium, and lead. The results were compared with the Environmental Quality Standards for Water (EQS-Water) and used to calculate the WQI, allowing the determination of the water resource's condition and quality for agricultural purposes. The results showed that the temperature ranged from 10.5 to 21.6 °C during the dry season and from 6.1 to 16.5 °C during the rainy season. Turbidity varied from 1.02 to 15.9 NTU during the dry season and from 3.51 to 18.7 NTU during the rainy season, while total suspended solids (TSS) reached values of 35.6 to 81.3 mg L⁻¹ and from 65.2 to 545.5 mg L⁻¹, respectively. The pH ranged from 7.01 to 7.31, and the electrical conductivity (EC) ranged from 187 to 846 µS cm⁻¹. Furthermore, concentrations of cadmium and chromium exceeding the limits established by current regulations were detected at certain monitoring points, while lead was not detected. The ICA-PE (Water Quality Index - Agricultural Irrigation) reached values of 77.35 during the rainy season and 83.86 during the dry season, classifying the water as "Good." It is concluded that the water of the Pongora River presents suitable conditions for agricultural irrigation; however, the presence of heavy metals highlights the need to implement permanent monitoring and environmental management programs.

Keywords: water quality, irrigation water, ICA-PE, heavy metals, Pongora River, Ayacucho

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural esencial para la supervivencia de los seres vivos y para el desarrollo de las actividades económicas, sociales y ambientales. Entre sus múltiples usos, la agricultura constituye el sector con mayor demanda de agua dulce a nivel mundial, consumiendo aproximadamente el 70 % de los recursos hídricos disponibles (FAO, 2021). El agua utilizada para el riego es un recurso esencial para el desarrollo de la agricultura, ya que tanto su cantidad como sus condiciones de calidad influyen directamente en la producción de los cultivos y en la conservación del ambiente. No obstante, este recurso se encuentra cada vez más expuesto a diferentes presiones ocasionadas por el aumento de la población, el crecimiento de las áreas agrícolas, las actividades de extracción y la expansión de las ciudades. Estas acciones pueden generar cambios en las características del agua y contribuir a su deterioro, afectando su disponibilidad para las actividades agrícolas y ambientales (UNESCO, 2024). La calidad del agua se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su aptitud para un uso específico. En el ámbito agrícola, la presencia de sustancias contaminantes puede afectar la fertilidad de los suelos, disminuir el rendimiento de los cultivos y generar riesgos para la salud humana y ambiental. En este sentido, realizar un seguimiento constante de las condiciones del agua permite identificar oportunamente posibles alteraciones en su calidad y conocer cómo estas pueden afectar las actividades agrícolas. Por ello, el monitoreo periódico constituye una herramienta importante para tomar decisiones adecuadas y contribuir al manejo responsable de los recursos hídricos (Chapman, 1996).

En las zonas andinas del Perú, el agua de los ríos cumple un papel importante en el desarrollo de la agricultura, debido a que constituye una fuente utilizada para el riego de los cultivos. Su disponibilidad resulta especialmente relevante para las actividades agrícolas de las comunidades que dependen de estos recursos para la producción. No obstante, las características geomorfológicas de las cuencas, la erosión de los suelos, las descargas de origen doméstico y las actividades productivas desarrolladas en las zonas de influencia pueden modificar la composición natural del agua. Estas alteraciones suelen reflejarse en cambios de parámetros físicos, tales como temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales, así como en parámetros

químicos relacionados con la acidez, salinidad y presencia de elementos potencialmente tóxicos (ANA, 2020).

Entre los contaminantes que generan mayor preocupación se encuentran los metales pesados debido a su persistencia en el ambiente, capacidad de bioacumulación y potencial toxicidad para organismos vivos. Elementos como el cadmio, cromo y plomo pueden incorporarse al agua superficial por procesos naturales o por actividades antrópicas, y posteriormente acumularse en los suelos agrícolas y tejidos vegetales, éstas condiciones pueden ocasionar impactos adversos en la salud de la población y comprometer el equilibrio y la sostenibilidad de los agroecosistemas (WHO, 2022). Por esta razón, la evaluación de estos elementos constituye un componente indispensable en los estudios de calidad del agua.

Con el propósito de integrar e interpretar de manera objetiva la información generada por múltiples parámetros, se han desarrollado diversos índices de calidad del agua. Estos indicadores permiten sintetizar las condiciones del recurso hídrico en un valor único que facilita su análisis, comparación y comunicación. En el Perú, la Autoridad Nacional del Agua ha implementado el Índice de Calidad del Agua Peruano (ICA-PE), la evaluación de los cuerpos de agua superficiales permite obtener una apreciación general de sus condiciones y, al mismo tiempo, proporciona elementos que pueden servir de apoyo para una adecuada gestión ambiental (ANA, 2020).

El valle del río Pongora es el principal abastecedor de hortalizas y leguminosas para el consumo de la población de la ciudad de Ayacucho, sometidos a un proceso productivo con el uso de insumos agrícolas y riego con aguas provenientes del río Pongora cuya composición es el resultado de la confluencia del río Muyurina y río Huayllapampa.

La microcuenca del río Pongora, ubicada en la región Ayacucho, constituye una fuente importante de abastecimiento de agua para las actividades agrícolas desarrolladas en su área de influencia. Sin embargo, la información disponible sobre las características físicas y químicas entre la época de estiaje y la época de lluvia de sus aguas es limitada, lo que dificulta la identificación de posibles riesgos asociados a procesos de contaminación. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar las variables físicas (temperatura, turbidez y

sólidos suspendidos totales) y químicas (pH, conductividad eléctrica, cadmio, cromo y plomo) del agua de riego, la presencia de metales pesados (Cr, Pb, Cd) en el agua de riego son nocivos para la salud humana enfocándonos en la premisa de una buena alimentación y salubridad de los consumidores; y finalmente determinar su influencia en el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE, según los Estándares de Calidad del Agua (ECA) de los límites máximos permisibles (LMP) para el agua de riego. Por tales consideraciones se decidió realizar la presente investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar variables físicas y químicas del agua de riego y su influencia en el Índice de calidad del agua (ICA) del río Pongora en Ayacucho, 2022.

Objetivos específicos

1. Evaluar variables físicas en el índice de calidad de agua (ICA) del río Pongora.
2. Evaluar variables químicas en el índice de calidad de agua (ICA) del río Pongora.
3. Asociar las variables físicas y químicas para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Pongora.

CAPÍTULO I

I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Según, Villena (2018) señala que; lograr el crecimiento económico, la salud y la calidad del agua son esenciales para el desarrollo sostenible y el bienestar humano. Debido a las características mineralógicas únicas de Perú, la extracción de minerales es un verdadero motor económico con un enorme potencial. Sin embargo, para desarrollar plenamente esta industria es necesario tomar medidas en materia de salud pública y proteger las fuentes de agua destinadas al consumo humano, la agricultura, la acuicultura y la recreación. Para diseñar estrategias en los ámbitos social, económico y medioambiental, es imprescindible determinar el grado de exposición nacional a los metales pesados y a los contaminantes asociados.

Desde la disposición de Villena (2018) afirma que; desde el acontecimiento internacional más importante en materia de política sanitaria de los años setenta, cuyo lema era «Salud para todos en el año 2000», ha existido un vínculo claro y constante entre la calidad del agua y la salud, incluso a nivel programático. La Organización Mundial de la Salud (OMS) encuentra una correlación directa entre pobreza y calidad del agua, además de la asociación entre salud y calidad del agua.

En relación con la turbidez, Custodio & Chanamé (2016) reportaron diferencias significativas entre los periodos de lluvia y estiaje. Estas variaciones se hicieron más evidentes en el sector de La Perla durante la época de menor caudal, lo que podría estar asociado con el incremento de las actividades humanas y con la reducida capacidad de dilución del río bajo estas condiciones. Los resultados obtenidos en la presente investigación guardan correspondencia con los hallazgos reportados por Custodio & Chanamé (2016) sobre la calidad del agua del río Cunas, quienes evidenciaron que:

Según el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) calificaron a las masas de agua del sector de San Blas como agua de calidad buena con un promedio del INSF de 76,91 para la época de lluvia y de 72,40 para la época de estiaje; mientras que para

los sectores de Huarisca y La Perla este índice calificó a las masas de agua como agua de calidad media. En Huarisca los promedios del INSF fueron de 70,08 y 66,27; tanto para la época de lluvia como de estiaje. En el sector La Perla los promedios del INSF fueron de 61,07 y 58,47, para época de lluvia y estiaje respectivamente. Los resultados obtenidos mediante el INSF califican a las aguas del sector San Blas como agua de calidad buena (el grado de amenaza por factores exógenos de tipo antropogénicos es menor); mientras que para las aguas de los sectores Huarisca y La Perla el índice califica como calidad media, revelando que el grado de amenaza por contaminación orgánica y biológica es moderada (p. 7).

En términos generales, los resultados evidencian una diferencia en la calidad del agua entre los sectores evaluados, debido a que San Blas alcanzó la categoría de calidad buena, mientras que Huarisca y La Perla fueron clasificados dentro de la categoría de calidad media.

A partir de la evaluación efectuada en 43 estaciones durante dos temporadas de muestreo, Gamarra et al. (2018) identificaron que el deterioro de la calidad del agua de la cuenca del río Utcubamba está asociado principalmente con actividades agrícolas que generan escorrentía por el empleo de fertilizantes y plaguicidas, así como con el vertimiento directo de efluentes domésticos sin tratamiento. A estas fuentes se suman las actividades de extracción de materiales, la disposición de residuos sólidos en zonas próximas a los cauces, la actividad de granjas avícolas y porcinas y la pérdida de vegetación ribereña. Estas condiciones favorecen el incremento de concentraciones bacterianas y químicas y, además, limitan la capacidad natural de los ecosistemas ribereños para retener e infiltrar agua y contribuir a la recuperación del sistema. Los autores señalan también que el agua del río no es adecuada para el consumo humano ni para el uso recreativo en la totalidad de la cuenca. Sin embargo, la mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados se encontraron dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua correspondientes a ríos de la sierra, categoría IV, referida a la conservación del ambiente acuático. La única excepción correspondió a la conductividad eléctrica registrada en la estación EM-24 durante la temporada seca, donde se superó el límite establecido (Gamarra et al., 2018, p. 13).

Para concluir, los autores afirman que el recurso hídrico no es apto para consumo y uso recreativo humano en toda la cuenca, la mayor parte de los parámetros físico químicos determinados en el agua del río Utcubamba.

Al analizar los cambios de la calidad del agua del río Cutuchi en función del espacio y del tiempo, Barrera y Cepeda (2020) determinaron que:

A través del índice para aguas superficiales National Sanitation Foundation (NSF). Para ello se realizó el estudio hidrometeorológico: precipitación, temperatura y caudal mediante cinco estaciones meteorológicas y una hidrológica para el periodo 2005-2015. Para la aplicación del Índice de calidad de agua (ICA) se analizó el periodo 2011-2015 y se realizó muestreos en el periodo septiembre 2019- enero 2020 de los parámetros establecidos como la temperatura y turbidez. A los cuales se aplicó la ecuación del promedio geométrico ponderado para la obtención de los subíndices de cada parámetro, cuyos valores obtenidos fueron multiplicados por los factores de ponderación de cada uno, de esta manera se obtuvo la categoría establecida de la calidad de agua del río Cutuchi. Los resultados mostraron una temperatura promedio anual de 13.7 °C y precipitación de 634 mm/año; la distribución de la precipitación dio como la mayor precipitación de 986.2 mm a 701.6 mm, seguida de 657.6 mm. El caudal promedio anual fue 11.15 m³/s, el periodo de avenida va de febrero a julio, y el estiaje de julio a enero. El promedio del ICA NSF para la estación hidrométrica (H0792) fue 58.17 (regular), este se ha mantenido durante 5 años, por lo que no se observa tendencias al incremento o decremento de la calidad de agua (p. 12).

Para concluir, el promedio del ICA del río Cutuchi NSF para la estación hidrométrica (H0792) fue 58.17 (regular).

Los parámetros del arsénico y la turbidez del agua de río Cutuchi según, Barrera & Cepeda (2020) señalan que:

En los periodos evaluados se registraron valores de arsénico y turbidez que excedieron los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA (Libro VI, Anexo 1, 2015). En particular, el arsénico alcanzó 0,055 mg/L en octubre de 2019, mientras que la turbidez presentó 128 NTU en 2012 y 192 NTU en octubre de 2019. Asimismo, se

consideró la correlación entre el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el caudal durante el periodo de análisis existe una correlación directa, es decir que a medida que incrementa el caudal también la calidad, sin embargo, en el período de muestreo carece de una correlación debido al poco tiempo de estudio (p. 12).

Los resultados superan el Límite Máximo Permisible de acuerdo con la correlación entre el valor del ICA y el caudal en el periodo de análisis existe una correlación directa.

Según la disposición de Forero et al. (2013) indican que:

A partir de los índices bióticos de familias por Hilsenhoff (IBF), Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) y Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col) e índices fisicoquímicos como el índice de calidad de agua (ICA), el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) e índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSU S) y se evaluó la calidad del agua. Las estaciones CR, EG, Ja, TP, Lc, EP, BD, QD y Et registraron la mejor calidad del agua, mientras que las estaciones BO, Tv, MF, PD y QO, registraron una calidad del agua regular, evidenciando la perturbación de los ecosistemas, afectando la calidad ecológica y fisicoquímica de las zonas. Este trabajo denota el uso de los índices bióticos y fisicoquímicos en los estudios del recurso hídrico, lo cual permite tener una información más amplia para el diagnóstico de las cuencas. Los resultados son relevantes y constituyen uno de los primeros esfuerzos en el departamento del Tolima en utilizar estas herramientas para conocer a fondo el estado de la cuenca y su grado de intervención (p. 1).

Los hallazgos son notables y representan uno de los primeros intentos en el departamento del Tolima de aplicar estos instrumentos para una comprensión integral del estado de la cuenca y su nivel de intervención.

La calidad del agua del río Pumacunchi según, Changoluisa & Quishpe (2020) para determinar el índice de calidad de agua (ICA NSF):

Se realizó un análisis Físico – Químicos en septiembre y enero. La calidad del agua de acuerdo a los 9 parámetros evaluados del ICA NSF determinó que el agua en los tres puntos de estudio es Regular ya que se encuentra en el rango de 51-70. (pág. 11). La calidad del agua del río Pumacunchi según los resultados fue Regular de acuerdo al ICA.

Según, Teves, 2016, citado por Buitron (2024) su propósito de esta investigación fue:

Realizar un análisis fisicoquímico del agua del río Caca, parte de la cuenca hidrográfica del río Cañete en la provincia de Yauyos, Región Lima - Perú. El objetivo era determinar la calidad del agua utilizada para el riego de cultivos agrícolas y para el suministro de agua a animales en una zona caracterizada por su extrema pobreza. El monitoreo se llevó a cabo en dos períodos, en mayo y julio de 2015, durante las temporadas de lluvia y sequía, respectivamente, con seis estaciones de muestreo establecidas. Se realizaron mediciones in situ y se recolectaron muestras para análisis posterior en el laboratorio. Los parámetros evaluados incluyeron temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH en el campo, y una variedad de parámetros en el laboratorio, utilizando técnicas como 33 espectroscopías UV-Visible y de absorción atómica (AAS). Los resultados mostraron que los parámetros evaluados en el río Caca cumplían con los estándares nacionales de calidad ambiental para el riego de vegetales y para el consumo de animales. Sin embargo, el río Paluche, uno de sus afluentes, presentaba valores que excedían los límites establecidos para fosfatos, hierro y pH. Se sugiere que el río Lincha tiene un impacto en la calidad del agua del río Caca” (p. 33).

La determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) del río Muyurina, según, Buitron (2024) en su tesis, refiere:

Se establecieron cuatro estaciones de muestreo a lo largo del tramo donde se unen los ríos Alameda y Huatatas, formando el río Muyurina. Se realizaron seis muestreos en total: tres durante la época de estiaje y tres durante la temporada de lluvias, considerando la contaminación de origen humano. El Índice de Calidad (ICA), para el río Muyurina según cada zona de muestreo resultó: En Rmuyu-01 es 50,29; Rmuyu-02 es 48,64; Rmuyu-03 es 61,40 y de Rmuyu-04 es 65,47. Según la escala del ICA la zona de muestreo Rmuyu-01 y Rmuyu-02 tienen la clasificación de calidad “mala” y las zonas de muestreo Rmuyu-03 y Rmuyu-04 poseen la clasificación de calidad “regular”. (pág. 15). Así llegan a la conclusión que la contaminación del agua es de origen antrópico.

Como antecedente para la evaluación de la calidad del recurso hídrico, Arones et al. (2018) realizaron un estudio sobre el río Huatatas, en la región Ayacucho, en el que aplicaron el Índice de Calidad del Agua (ICA) para determinar sus condiciones de calidad. La investigación fue

desarrollada en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por Arones Medina, Edgar G.; Veliz Flores, Raúl R.; y Palomino Malpartida, Ybar G:

El objetivo de esta investigación fue determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas en la región de Ayacucho durante el año 2017, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se establecieron cuatro estaciones de muestreo a lo largo del río, desde la parte alta hasta la parte baja antes de su confluencia con el río Alameda. El área de estudio abarca una altitud que varía entre 2 724 y 2 552 m.s.n.m., cubriendo un tramo de aproximadamente 5,40 km, y las ubicaciones de muestreo se determinaron utilizando un equipo GPS. Este estudio se inscribe en una investigación básica de nivel descriptivo y un diseño no experimental. Se recolectaron muestras durante el año 2017 en cada una de las estaciones de muestreo, en cuatro ocasiones, durante las temporadas de estiaje y lluvias. Los parámetros medidos en el campo incluyeron temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto (%), salinidad, sólidos disueltos totales y presión, utilizando el equipo multiparámetro HI 9828; mientras que la turbidez se midió con un turbidímetro y la temperatura ambiental con un termómetro. Los parámetros de fosfatos, nitratos, DBO y coliformes fecales se analizaron en laboratorios de la UNSCH. La calidad del agua en la microcuenca del río Huatatas en la región de Ayacucho, evaluada mediante el método del Índice de Calidad del Agua (ICA) 37 durante el año 2017, se clasifica como buena en la parte alta (RHuat-01) durante las temporadas de estiaje y lluvias. En las otras estaciones, varía de regular a buena, mostrando un leve deterioro a medida que avanza hacia la estación RHuat-03 (p. 117).

1.2. Contaminación del agua

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), el agua se considera contaminada cuando las alteraciones en su composición afectan su aptitud para el consumo y para actividades esenciales como la agricultura. Esta condición constituye además un problema para la salud pública, debido a que el contacto o consumo de agua contaminada puede favorecer la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, y se relaciona con más de 500 000 muertes anuales por enfermedades diarreicas a nivel mundial.

La contaminación hídrica puede estar asociada con diversos agentes de origen biológico y químico, entre ellos microorganismos patógenos, nutrientes, productos agroquímicos, medicamentos, materiales plásticos, residuos fecales y compuestos radiactivos. Debido a que varios de estos contaminantes no generan alteraciones perceptibles en las características visuales del agua, su presencia puede pasar inadvertida. En consecuencia, la determinación de la calidad del recurso hídrico requiere el análisis químico de muestras de agua, así como de organismos acuáticos, que permiten evaluar su estado (OMS, 2017).

El agua constituye un recurso esencial para alcanzar el desarrollo sostenible, debido a su influencia en ámbitos como la actividad socioeconómica, la generación de energía, la producción de alimentos, el funcionamiento de los ecosistemas y la preservación de la vida humana. Asimismo, desempeña un papel relevante frente a los efectos del cambio climático, al establecer una estrecha relación entre las dinámicas de la sociedad y las condiciones del medioambiente (Organización de las Naciones Unidas - ONU, 2019).

“La contaminación del agua es la modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural” (Carta del agua, Consejo de Europa, 1968, como se cita en Palomino, 2018, p. 4).

Según, la Organización Mundial de la Salud (OMS), citado por García (2009) considera que:

El agua está contaminada cuando su composición o estado natural se ven modificados de tal modo que pierde las condiciones aptas para los usos a los que estaba destinada. El agua contaminada presenta alteraciones físicas (temperatura, color, densidad, suspensiones, radiactividad, etc), químicas (sustancias disueltas, composición, etc) o biológicas, por lo que no puede cumplir sus funciones ecológicas (p. 11).

1.2.1. Origen y fuentes de contaminación del agua.

Las fuentes de contaminación del agua, denominadas también según, Brooks et al 1991 citado por Palomino (2018) refieren que:

Efluentes contaminantes que utilizan como insumo el agua, y presentan elementos y sustancias con característica física, química y bacteriológica que afectan las condiciones del cuerpo receptor o componente ambiental donde son vertidos; como por ejemplo:

- ✓ Vertimiento de aguas negras o servidas a los ríos, lagos o mar.
- ✓ Vertimiento de basuras y desmontes en las orillas del mar, ríos y lagos.
- ✓ Entre las fuentes de contaminación asociadas a las actividades desarrolladas en las riberas de los ríos se encuentran algunas prácticas informales y clandestinas, como las labores de curtiembre y la fundición de baterías de automóviles recicladas.
- ✓ A estas se suman los efluentes líquidos generados por diversas actividades productivas, entre ellas los trabajos de excavación y el funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, así como los vertimientos ocasionados por derrames de aceites y por el uso de productos químicos, como fertilizantes agrícolas y plaguicidas (p. 4).

Según García (2009), la contaminación de los recursos hídricos puede originarse por procesos naturales o como consecuencia de las actividades humanas. En el segundo caso, el crecimiento de las actividades productivas y la industrialización han incrementado tanto la utilización del agua como la generación de residuos que pueden incorporarse a los cuerpos de agua. Por su parte, las fuentes naturales suelen encontrarse distribuidas en diferentes zonas y, generalmente, no producen elevadas concentraciones de contaminantes, salvo en áreas específicas vinculadas con determinados yacimientos minerales.

Entre las principales fuentes de contaminación de origen antrópico se encuentran:

- a. **Descargas de aguas residuales urbanas:** corresponden principalmente a los vertimientos procedentes de los hogares, aguas negras y actividades de limpieza.
- b. **Efluentes de actividades ganaderas:** contienen estiércol y orina, los cuales pueden incorporar microorganismos patógenos, sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno y fósforo.
- c. **Aguas residuales provenientes de actividades agrícolas:** comprenden sustancias utilizadas en la producción agrícola, como fertilizantes inorgánicos, estiércol, orina, otros abonos, plaguicidas, herbicidas y sales presentes en el agua de riego.

- d. Vertimientos industriales:** las actividades industriales emplean agua en procesos de transformación, refrigeración, transporte y como disolvente. Entre las industrias que generan contaminantes se encuentran las dedicadas al refinado de petróleo, las actividades metalúrgicas, la producción de papel, los sectores textil y de curtido, así como las industrias químicas y farmacéuticas. Los residuos generados por estas actividades pueden incluir cianuros, grasas, fenoles, sólidos, sustancias tóxicas, álcalis, metales pesados y materiales químicos y biológicos.
- e. Otras fuentes de contaminación:** incluyen las actividades relacionadas con embarcaciones a motor, la construcción de presas y las explotaciones mineras, estas últimas asociadas con la descarga de compuestos como cobre, cadmio, cinc, plomo y mercurio.

En función de la distribución espacial de la descarga contaminante, las fuentes pueden clasificarse en puntuales y dispersas. Las primeras se presentan cuando los contaminantes son liberados en sitios determinados, mientras que las segundas corresponden a situaciones en las que estos se descargan o distribuyen sobre superficies extensas (García, 2009, p. 11).

Aquino (2017), manifiesta que el estudio de la contaminación del agua permite identificar la presencia de sustancias o agentes que alteran sus condiciones naturales y afectan su calidad:

De acuerdo a la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos – 2016, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) identificó 41 unidades hidrográficas, cuyos parámetros de calidad exceden los ECA-Agua, siendo la causa principal el vertimiento de aguas residuales industriales, domésticas y municipales.

La Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH) de la ANA, a través de un diagnóstico elaborado el año 2012, muestra las principales fuentes de contaminación y origen, siendo uno de ellos el vertimiento de aguas residuales municipales propias de la influencia de las actividades humanas en las ciudades. Otra fuente importante está relacionada con las actividades mineras como la informal y los pasivos ambientales mineros (p. 29).

Tabla 1

Tipo y origen de contaminación de los recursos hídricos en el Perú.

Cuerpo de agua	Ubicación	Tipo de contaminación y origen
Río Amazonas	Loreto	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales, grifos flotantes, derrame de petróleo.
Río Madre de Dios y afluentes	Madre de Dios	Afectado por la minería ilegal e informal.
Río Tambo	Moquegua-Arequipa	Boro y Arsénico (origen natural).
Río San Juan	Pasco	Afectado por vertimientos mineros y municipales.
Río Perené	Pasco	Afectado por vertimientos mineros y municipales.
Río Piura	Piura	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales.
Río Chira	Piura	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales y agrícolas.
Río Coata	Puno	Vertimiento de aguas residuales municipales.
Río Ramis	Puno	Minería ilegal e informal (vertimientos de relaves mineros).
Río Ayaviri-Pucará	Puno	Vertimiento de aguas residuales municipales.
Bahía Interior de Puno-Lago Titicaca	Puno	Afectada por vertimiento de aguas residuales municipales.
Bahía de Yunguyo-Lago Titicaca	Puno	Afectada por vertimiento de aguas residuales municipales.
Río Suches	Puno	Afectado por la minería ilegal e informal generada por mineros peruanos y bolivianos.
Río Sandi	Puno	Afectado por vertimientos municipales.
Río Tumbes	Tumbes	Afectado por vertimientos de aguas residuales municipales, actividades mineras en el Ecuador.
Río Huallaga	Ucayali	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales.

Fuente: ANA, 2012 citado en (Aquino, 2017)

A partir del diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos del Perú, elaborado con base en una evaluación desarrollada entre abril de 2010 y diciembre de 2012, Aquino (2017) señala lo siguiente:

De un total de 159 unidades hidrográficas, 35 unidades hidrográficas presentaron, en promedio, concentraciones de los parámetros pH, conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno, arsénico, mercurio, cadmio, plomo y hierro por encima de los ECA-Agua aprobados el año 2008 (correspondientes a la Clasificación de los cuerpos naturales de agua superficial aprobada con Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA). Este resultado está asociado a los vertimientos de aguas

residuales no autorizados, pasivos ambientales, residuos sólidos y condiciones naturales, factores geológicos, ambientales e hidrológicos (p. 30).

Aquino (2017) señala que la contaminación de los recursos hídricos puede estar asociada con factores naturales y antropogénicos. En el primer caso, la composición química de los suelos presentes en áreas de origen volcánico o de formación cuaternaria puede favorecer la presencia de determinados metales y metaloides, entre ellos hierro, cobre y arsénico.

Por otro lado, las fuentes relacionadas con las actividades humanas comprenden:

- Uso inadecuado de agroquímicos.
- Desarrollo de actividades de minería informal.
- Existencia de pasivos ambientales.
- Descarga de aguas residuales sin tratamiento.
- Manejo inadecuado de residuos sólidos.

De acuerdo con Aquino (2017), estas fuentes constituyen factores que contribuyen al deterioro de la calidad del recurso hídrico en las 35 unidades hidrográficas del Perú (p. 32).

1.2.2. Principales contaminantes

Debido a la diversidad de agentes que pueden alterar la calidad del agua, García (2009) propone agruparlos en ocho categorías principales, lo que permite facilitar su estudio y análisis:

- a. Microorganismos patógenos:** comprenden bacterias, virus, protozoos y otros microorganismos capaces de transmitir enfermedades como el cólera, el tifus y la hepatitis. Su presencia en el agua suele estar relacionada con la incorporación de heces y otros residuos orgánicos provenientes de personas infectadas. Para evaluar la presencia de estos microorganismos se considera el número de bacterias coliformes, y la OMS establece que el agua destinada al consumo debe presentar ausencia de coliformes en 100 ml.

- b. Desechos orgánicos:** corresponden a residuos de origen orgánico generados por las personas y los animales, entre los que se encuentran las heces y otros materiales susceptibles de descomposición mediante bacterias aeróbicas. Cuando su cantidad es elevada, la actividad bacteriana puede reducir el oxígeno disponible en el agua, afectando a los organismos que requieren este elemento para sobrevivir. La demanda biológica de oxígeno (DBO) constituye un indicador de este tipo de contaminación, debido a que permite determinar la cantidad de oxígeno consumido durante un periodo establecido. Valores elevados de DBO se relacionan con una mayor contaminación y una menor calidad del agua.
- c. Sustancias químicas inorgánicas:** incluyen ácidos, sales y metales potencialmente tóxicos, como el mercurio y el plomo. Cuando estos componentes alcanzan concentraciones elevadas, pueden ocasionar efectos perjudiciales en los organismos, reducir el rendimiento de las actividades agrícolas y generar procesos de corrosión en los equipos utilizados para el manejo del agua.
- d. Nutrientes vegetales inorgánicos:** dentro de este grupo se encuentran principalmente los nitratos y fosfatos, elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia excesiva favorece una proliferación descontrolada de algas y otros organismos, dando lugar al proceso de eutrofización. Posteriormente, la descomposición de estos organismos consume el oxígeno disponible, dificultando la supervivencia de otras formas de vida y generando condiciones que deterioran la utilidad y las características del agua.
- e. Compuestos orgánicos:** comprenden sustancias como petróleo, plásticos, plaguicidas, disolventes y detergentes, que pueden incorporarse al agua y permanecer durante periodos prolongados debido a la complejidad de algunas de sus estructuras moleculares. En el caso de los hidrocarburos presentes en el mar, una parte procede de accidentes relacionados con actividades petroleras, mientras que otra se origina en operaciones rutinarias de limpieza de tanques y en escapes no intencionales. Los mares y océanos

constituyen, de acuerdo con García (2009), importantes receptores de la contaminación generada por las actividades humanas.

- f. Sedimentos y materiales en suspensión:** están constituidos por partículas provenientes del suelo y otros materiales que son transportados hacia los cuerpos de agua. Debido a su elevada cantidad, representan una fuente importante de contaminación. Su acumulación puede incrementar la turbidez, dificultar las condiciones necesarias para determinados organismos y afectar áreas utilizadas por los peces para alimentarse o reproducirse. Asimismo, estos materiales pueden acumularse en lagos y pantanos, además de obstruir canales, ríos y puertos.
- g. Sustancias radiactivas:** corresponden a isótopos radiactivos que pueden encontrarse disueltos en el agua y posteriormente incorporarse a las cadenas alimentarias. Este proceso puede ocasionar que determinados organismos acumulen concentraciones superiores a las presentes inicialmente en el medio acuático.
- h. Contaminación térmica:** se produce cuando el vertimiento de agua caliente procedente de centrales de energía o actividades industriales incrementa la temperatura de ríos y embalses. Esta alteración térmica reduce la capacidad del agua para mantener oxígeno y puede afectar a los organismos que habitan en estos ambientes.

Asimismo, García (2009) señala que determinados ecosistemas costeros caracterizados por una elevada diversidad biológica se encuentran gravemente amenazados por las actividades humanas, entre ellos las marismas, los estuarios, los arrecifes de coral y los manglares (pp. 12-13).

1.2.3. Contaminación del agua de riego

Según, el Ministerio de Agricultura – MINAG, 2003, citado por Alca (2020), manifiesta que:

La contaminación del agua tiene diferentes causas y orígenes, cuyo protagonista principal es el “hombre”. En la costa, los ríos reciben los relaves de las minas y en las ciudades enorme cantidad de desagües domésticos e industriales que son vertidos

diariamente en los lechos de los ríos. Entre los ríos más contaminados están: el Rímac, Santa, Chillón, Cañete, Pisco, Tambo, Chili, Locumba y Tumbes (p. 10).

Según Chanduví (2009), citado por Alca (2020), el incremento de la producción agrícola que se requiere para atender las futuras necesidades alimentarias de los países de la región deberá sustentarse en una mayor productividad de los cultivos mediante la intensificación de las actividades agrícolas. Sin embargo, este proceso debe desarrollarse considerando los posibles efectos ambientales asociados con las prácticas agrícolas.

- **Sedimentos y erosión:** los reportes nacionales evidencian la importancia de problemas como la erosión de los suelos, la deforestación, la desertificación y otras formas de degradación de las tierras. Estas condiciones favorecen un elevado transporte de sedimentos hacia las aguas superficiales. Frente a esta situación, se plantea la necesidad de implementar medidas orientadas al control de la erosión del suelo.
- **Nutrientes de las plantas:** la información disponible sobre producción y utilización de fertilizantes muestra que en gran parte de los países de la región existe una condición de subfertilización. Determinadas prácticas agrícolas y el uso desequilibrado de fertilizantes contribuyen al agotamiento de la materia orgánica y de los nutrientes minerales del suelo. Asimismo, las aguas superficiales pueden verse afectadas por la descarga de residuos tanto orgánicos como inorgánicos.
- **Plaguicidas:** existe información limitada respecto al nivel efectivo de contaminación de las aguas ocasionado por estos productos. No obstante, se dispone de datos sobre los tipos de plaguicidas utilizados y las cantidades aplicadas, evidenciándose una elevada intensidad de uso, especialmente en zonas de agricultura intensiva. Además de las medidas destinadas a disminuir sus efectos sobre las personas y el ambiente, como la capacitación, la información y los códigos de conducta, se plantea la necesidad de realizar evaluaciones de riesgo (Chanduví, 2009, citado por Alca, 2020, p. 10).

1.2.4. Prevención de la contaminación del agua

Chanduví (2009), citado por Alca (2020), plantea una serie de recomendaciones para que la FAO impulse mecanismos regionales orientados a prevenir y controlar la contaminación de los recursos hídricos vinculada con las actividades agrícolas. Entre las principales propuestas se encuentran:

- a. Establecer criterios regionales comunes:** promover acuerdos y lineamientos compartidos entre los países para prevenir y atender los problemas de contaminación del agua derivados de la agricultura cuando estos afecten a más de una nación.
- b. Fortalecer el intercambio de información y conocimientos:** proporcionar a los países información, conocimientos y resultados que contribuyan a implementar prácticas y programas agrícolas integrados para prevenir la contaminación hídrica. También se propone elaborar materiales educativos y desarrollar talleres, conferencias y publicaciones destinadas a fortalecer el conocimiento sobre las estrategias, prácticas y beneficios de la prevención de la contaminación.
- c. Establecer criterios para el registro y uso de plaguicidas:** desarrollar pautas regionales para registrar los plaguicidas cuyo empleo esté autorizado. Asimismo, se plantea que cada país adopte procedimientos adecuados a sus condiciones particulares para regular el uso de plaguicidas y otros productos químicos que puedan representar un riesgo, además de impedir la utilización agrícola de productos químicos tóxicos que no se encuentren registrados.
- d. Impulsar proyectos regionales de control:** facilitar el diseño y ejecución de proyectos destinados a desarrollar, demostrar y evaluar prácticas y programas integrados para reducir la contaminación del agua. Estos proyectos deberían considerar diferentes tipos de contaminantes, entre ellos sedimentos, plaguicidas, sales y residuos de origen humano y animal, en zonas representativas de la región.

Adicionalmente, se plantearon otras recomendaciones orientadas a fortalecer la participación institucional:

- Promover la cooperación entre instituciones:** fomentar la coordinación y la construcción de acuerdos entre entidades gubernamentales, universidades y

organizaciones no gubernamentales, con el propósito de favorecer el desarrollo y aplicación de programas y prácticas integradas para el control de la contaminación del agua.

- **Fortalecer la capacitación especializada:** promover la formación de profesionales vinculados con la agricultura, la calidad del agua y otras áreas ambientales, de manera que puedan desarrollar, aplicar y transferir a agricultores y administradores de recursos programas y prácticas destinadas al control integrado de la contaminación. Estas acciones buscan favorecer el crecimiento y la sostenibilidad de las actividades industriales y agrícolas en los diferentes países (Chanduví, 2009, citado por Alca, 2020, p. 12).

Díaz & Macías (2010) señalan que la recuperación de la calidad ambiental de una cuenca requiere la aplicación de acciones sostenidas que contribuyan a su manejo y desarrollo sostenible. A partir de los resultados obtenidos, los autores plantean las siguientes estrategias:

- a) Ordenamiento del territorio.
- b) Ampliación de la cobertura de los sistemas de alcantarillado sanitario y mejora de los mecanismos de tratamiento existentes.
- c) Recuperación y conservación de los ecosistemas ubicados en las zonas ribereñas.
- d) Implementación de medidas orientadas a proteger las microcuencas y las zonas de ladera.
- e) Reducción del empleo de plaguicidas en las actividades desarrolladas en el sector.
- f) Promoción de campañas de educación ambiental dirigidas a los diferentes sectores de la población (Díaz & Macías, 2010).

En relación con la educación ambiental, Díaz & Macías (2010) consideran que su aplicación debe mantenerse de manera permanente, debido a que la participación de la población constituye un elemento importante para dar continuidad a las acciones de prevención y control de la contaminación. En este sentido, las medidas propuestas comprenden la mejora de la infraestructura pública, el ordenamiento territorial y la recuperación de los ecosistemas afectados, acompañadas de la participación de los diferentes actores en la identificación de los

problemas, la búsqueda de soluciones y el seguimiento de las acciones implementadas. Para ello, se plantean las siguientes acciones:

a. Educación ambiental dirigida al sector institucional

- **Entidades gubernamentales:** desarrollo de actividades de sensibilización que permitan comprender la relación entre la calidad del agua del río y el desarrollo de la región.
- **Gremios y organizaciones:** realización de actividades orientadas a generar conciencia sobre la importancia del río y su relación con los sectores representados.
- **Sector educativo formal:** fortalecimiento de las acciones de educación ambiental desarrolladas en los programas educativos, incorporando conocimientos relacionados con las afectaciones que experimenta el río y las medidas que pueden adoptarse para prevenirlas.

b. Promoción de buenas prácticas ambientales en el sector productivo

- Difusión de prácticas ambientales adecuadas entre los sectores ganadero, agrícola, forestal, transporte y otras actividades productivas.
- Establecimiento de incentivos y mecanismos de reconocimiento para las actividades productivas que incorporen buenas prácticas ambientales en sus procesos.
- Promoción de la responsabilidad social y ambiental de las actividades productivas respecto a su entorno y a la recuperación de los ecosistemas.

c. Educación ambiental orientada al sector ciudadano

- Fortalecimiento de las acciones destinadas a conservar y recuperar las tradiciones culturales relacionadas con el entorno.
- Promoción del reconocimiento del ecosistema hídrico como un elemento vinculado con el desarrollo y bienestar de la población local.
- Utilización de los medios de comunicación para difundir información sobre las acciones que pueden realizar los ciudadanos frente a la problemática ambiental.

- Generación de espacios de participación, vigilancia y diálogo en los que se puedan abordar las causas de la contaminación del río y plantear alternativas para su solución (Díaz & Macías, 2010).

1.3. Concepto de calidad de Agua

La presencia de determinadas sustancias en el agua puede afectar su calidad cuando alcanzan concentraciones elevadas, debido a que pueden resultar perjudiciales para los seres humanos, las plantas y los animales, además de superar los valores establecidos en los estándares de calidad ambiental.

De acuerdo con Castañé et al. (1998), citados por Palomino (2018), el concepto de calidad del agua se relacionó inicialmente con las condiciones requeridas para el consumo humano. Sin embargo, la expansión de los asentamientos humanos y la diversificación de las actividades que requieren este recurso han generado la necesidad de considerar otros criterios de calidad en función de sus diferentes usos. En este sentido, la evaluación de la calidad del agua resulta relevante no solo para el abastecimiento humano, sino también para actividades como el riego agrícola, los procesos industriales, la elaboración de productos farmacéuticos, el monitoreo y la evaluación ambiental, así como para el funcionamiento de sistemas de tratamiento. Por tanto, la aptitud de una fuente de agua debe determinarse de acuerdo con el uso específico al que será destinada, debido a que las condiciones que permiten su utilización en una actividad no necesariamente garantizan su idoneidad para otra (Castañé et al., 1998, como se citó en Palomino, 2018, p. 4).

Faustino (1986), citado por Palomino (2018), señala que la calidad del agua debe evaluarse considerando el uso al que estará destinada. Para determinar su aptitud, se toman como referencia diferentes parámetros físico-químicos y biológicos establecidos en normas específicas. Entre ellos se consideran:

- Parámetros físicos:** comprenden características como el sabor, olor, color, turbidez, conductividad y temperatura.
- Parámetros químicos:** incluyen el pH, oxígeno, saturación de oxígeno, sólidos en suspensión, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, amoniacos, sulfuros, hierro, manganeso, metales pesados y gases disueltos, como el dióxido de carbono. También se

consideran la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO).

c. Parámetros biológicos:

- **Bacterianos:** consideran la presencia de bacterias coliformes, utilizadas como indicadores de contaminación fecal, así como otras bacterias, entre ellas las Salmonellas.
- **Virus:** consideran la presencia de estos microorganismos en el agua.
- **Comunidades de macro invertebrados bentónicos:** permiten valorar la calidad del agua a partir de las especies presentes y de su diferente tolerancia frente a la contaminación.

En consecuencia, la calidad del agua se determina de acuerdo con el cumplimiento de los valores establecidos para los parámetros correspondientes al uso previsto. Cuando estos requisitos son alcanzados, el recurso puede considerarse adecuado para el proceso o consumo específico al que será destinado (Faustino, 1986, como se citó en Palomino, 2018, p. 5).

Los Índices de Calidad del Agua (ICA) constituyen herramientas empleadas para determinar el estado de un cuerpo de agua superficial o subterráneo en un periodo específico. Su cálculo integra información obtenida de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos, cuyos resultados son incorporados en una expresión matemática que permite valorar de manera conjunta la condición del recurso hídrico (Ruiz et al., 2007, citado por Barrera & Cepeda, 2020, p. 8). A partir de estos índices, es posible realizar una apreciación general de la calidad del agua en diferentes niveles y establecer la vulnerabilidad del cuerpo hídrico ante posibles amenazas. La determinación de la calidad del agua requiere, inicialmente, la obtención de muestras que permitan analizar diferentes parámetros e indicadores (Gallego et al., 2010, citado por Barrera & Cepeda, 2020, p. 8). Una vez obtenidos, los resultados son procesados y expresados mediante valores numéricos que permiten establecer índices de acuerdo con rangos previamente definidos para la calidad del agua. Según Montero (2017, citado por Barrera & Cepeda, 2020, p. 8), estos índices se agrupan principalmente en dos categorías biológicos y fisicoquímicos.

1.3.1. Índice de calidad de agua

La Autoridad Nacional del Agua – ANA (2018) señala que la evaluación de la calidad del agua en el Perú se efectúa mediante la comparación de los resultados obtenidos para diferentes

parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), considerando la categoría correspondiente al cuerpo de agua superficial. Este procedimiento permite determinar si los parámetros evaluados cumplen o no con los valores establecidos, identificando aquellos que presentan condiciones críticas y señalando sus respectivas concentraciones. No obstante, este tipo de evaluación presenta limitaciones para expresar de manera general el nivel de calidad del recurso hídrico, es decir, para establecer si su condición puede considerarse excelente, buena, regular, mala o pésima (ANA, 2018, p. 21).

En este contexto, los Índices de Calidad del Agua (ICA) constituyen herramientas matemáticas que permiten integrar los resultados de diversos parámetros y representarlos mediante una escala única, facilitando así la interpretación de una cantidad amplia de información relacionada con la calidad del agua. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), los indicadores ambientales cumplen principalmente dos funciones:

- Disminuir la cantidad de mediciones y parámetros necesarios para representar una determinada situación de manera adecuada.
- Facilitar la comunicación e interpretación de los resultados obtenidos mediante las mediciones.

De esta manera, los ICA representan una herramienta útil para comunicar de forma sencilla la condición del recurso hídrico tanto a las autoridades responsables como a la población. Asimismo, permiten identificar y comparar las condiciones de calidad del agua y observar posibles variaciones en el espacio y el tiempo. La valoración se expresa mediante una escala de 0 a 100, en la que el valor de 0 representa una calidad deficiente y el valor de 100 corresponde a una calidad excelente. Debido a estas características, los índices han sido utilizados ampliamente y aplicados en diferentes países para determinar la aptitud del agua según distintos usos. Existen diversos índices desarrollados para este propósito, cada uno con características particulares (ANA, 2018, p. 22).

1.3.2. Calidad del Agua de riego

Según Ministerio de Agricultura – MINAG, 2003, citado por Alca, (2020), menciona que:

El agua de riego es el recurso hídrico imprescindible para el desarrollo de las plantas. El éxito de la agricultura bajo riego, depende en gran medida de la “Calidad del Agua”, porque puede influir, modificando las características propias del suelo, así como en el rendimiento de los cultivos, si transporta sales en cantidades excesivas que afecten a la planta (p. 4).

La composición salina del agua constituye un aspecto relevante para determinar su aptitud para el riego. De acuerdo con el MINAG (2003), citado por Alca (2020), entre las sustancias que forman parte de esta composición se encuentran los cloruros y sulfatos asociados con sodio, calcio, potasio y magnesio. Asimismo, el sodio, el boro y los bicarbonatos, en interacción con el calcio y el magnesio, forman parte de los componentes considerados en la evaluación de la calidad del agua de riego. Para estimar la cantidad de sales que se encuentran disueltas, se emplea la conductividad eléctrica (CE), cuya medición puede expresarse en mmhos/cm a 25 °C o en mS/cm (MINAG, 2003, como se citó en Alca, 2020).

El agua constituye un recurso esencial para el crecimiento de los cultivos y el mantenimiento de los animales domésticos, por lo que su utilización para riego y bebida requiere condiciones apropiadas en sus características físicas, químicas y biológicas. Su calidad está determinada principalmente por las sales presentes y por las concentraciones que estas alcancen, las cuales pueden influir en la adecuación del agua para el desarrollo de las plantas.

Las aguas superficiales pueden experimentar modificaciones en su calidad debido a diversos factores naturales y a las actividades desarrolladas por el ser humano. Entre estos factores se encuentran las condiciones climáticas, la hidrología, las características geológicas y fisiográficas, así como las actividades domésticas, industriales y mineras. Estos elementos pueden afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua destinada al riego de cultivos y a la bebida de animales, incluso generando alteraciones asociadas con la presencia de elementos tóxicos.

Para el riego de cultivos como frutales, legumbres y cereales, el agua debe cumplir determinados criterios de calidad. En particular, se debe evitar la presencia de sustancias como el boro y los

metales pesados, debido a su carácter tóxico para el suelo y las plantas. Asimismo, cuando se trata de vegetales destinados al consumo en estado crudo, las condiciones de calidad deben ser más rigurosas, especialmente en relación con los parámetros microbiológicos, debido a que diferentes microorganismos pueden transmitirse mediante esta vía (MINAG, 2003, como se citó en Alca, 2020, p. 4).

1.3.3. Parámetros a evaluar en el ICA-PE

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018), a partir de la información obtenida mediante los monitoreos realizados en los cuerpos de agua superficiales, identificó los parámetros que son evaluados de manera recurrente. Esta selección se encuentra relacionada con lo establecido en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y permite reconocer posibles modificaciones en las condiciones del recurso, así como eventuales riesgos para la salud y el ambiente.

Para la aplicación de la metodología del Índice de Calidad del Agua (ICA-PE), también se considera la categoría correspondiente al cuerpo de agua. Asimismo, los parámetros seleccionados se relacionan con la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales y con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua) (ANA, 2018, p. 31).

Tabla 2*Interpretación de la calificación ICA – PE*

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

Nota. La clasificación cualitativa de la calidad del agua puede representarse mediante una escala de colores, en la que cada categoría se identifica con una tonalidad específica. Esta representación tiene como finalidad facilitar la interpretación y comunicación del estado de calidad del recurso hídrico (ANA, 2018).

1.4. Metales pesados

Los metales pesados pueden incorporarse a las aguas residuales como consecuencia de determinadas actividades comerciales e industriales. En aquellos casos en que estas aguas sean destinadas a la reutilización, puede ser necesario aplicar medidas para eliminar dichos elementos (ANA, 2018).

Pabón et al. (2020) señalan que los metales pesados comprenden elementos químicos caracterizados por presentar elevada densidad, masa y peso atómico, algunos de los cuales pueden resultar tóxicos incluso cuando se encuentran en bajas concentraciones. Entre estos elementos se encuentran el aluminio, berilio, cobre, hierro, manganeso, cadmio, mercurio y plomo. La presencia de estos contaminantes en las fuentes hídricas constituye una problemática

ambiental, debido a que su acumulación en el agua de los ríos puede afectar a las poblaciones que dependen de estos recursos y generar alteraciones en los sistemas ecológicos. Asimismo, el incremento de las concentraciones de metales pesados asociado con actividades antropogénicas puede ocasionar efectos perjudiciales sobre el ambiente y repercutir económicamente en las poblaciones afectadas, principalmente por el incremento de los costos relacionados con tratamientos médicos y la reducción de la productividad de sus habitantes (Pabón et al., 2020, p. 9).

La presencia de metales en el ambiente responde a una combinación de procesos naturales y actividades desarrolladas por el ser humano. Aunque estos elementos forman parte de la composición de la corteza terrestre, su incorporación al ambiente se ha intensificado como consecuencia del crecimiento de las actividades industriales y del uso que tienen en diferentes ámbitos de la vida cotidiana. Esta situación, junto con la expansión urbana, ha contribuido al incremento de problemas relacionados con la contaminación y el deterioro de los recursos ambientales, particularmente en los países en vías de desarrollo (Ongley, 1997, como se citó en Palomino, 2018).

Una de las características que incrementa la importancia ambiental de los metales pesados es su permanencia en el medio y su capacidad para incorporarse y acumularse en los organismos. Estos elementos pueden presentarse bajo formas orgánicas e inorgánicas y permanecer durante periodos prolongados en los seres vivos. Además, algunos metales poseen propiedades que favorecen su interacción con diferentes iones y moléculas. En el caso del cobre, plomo y mercurio, su toxicidad se relaciona con la capacidad de interactuar con determinados grupos presentes en las enzimas, pudiendo interferir en su funcionamiento y modificar procesos metabólicos.

Desde una perspectiva biológica, existen elementos metálicos que cumplen funciones necesarias para el metabolismo. El zinc, hierro, cobre y manganeso pertenecen a este grupo; sin embargo, las concentraciones que requieren los organismos se encuentran próximas a aquellas que pueden generar efectos tóxicos. En contraste, elementos como cadmio, mercurio, cromo y plomo pueden presentar efectos perjudiciales incluso a bajas concentraciones en determinadas condiciones, razón por la cual su presencia requiere atención dentro de los sistemas de tratamiento de agua (Ongley, 1997, como se citó en Palomino, 2018).

Los metales pueden agruparse, de acuerdo con su importancia biológica, en micronutrientes y metales pesados no esenciales. Los primeros son requeridos por algunos organismos en cantidades reducidas; dentro de este grupo se encuentran As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V y Zn. No obstante, cuando sus concentraciones superan determinados niveles, pueden producir efectos tóxicos. Los metales no esenciales, por su parte, no son necesarios para el funcionamiento de los organismos y pueden generar alteraciones cuando alcanzan determinadas concentraciones. Asimismo, poseen capacidad de acumulación en los seres vivos; entre ellos se consideran Be, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Ti (Ongley, 1997, como se citó en Palomino, 2018).

Los sistemas acuáticos pueden recibir diferentes sustancias procedentes de residuos y actividades humanas, entre ellas pesticidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, materiales radiactivos y metales pesados. Algunos de estos contaminantes pueden representar riesgos para los organismos y para las poblaciones humanas. Las características químicas de los metales están relacionadas con su estructura electrónica, que determina propiedades como su capacidad para formar cationes en solución y generar óxidos e hidróxidos de carácter básico (CCME, 1999, como se citó en Palomino, 2018).

Para la presente investigación adquieren particular importancia el Cd, Co, Cu, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn, debido a que estos elementos pueden ejercer efectos tóxicos sobre organismos terrestres y acuáticos. Una vez incorporados por los organismos, pueden acumularse en ellos y posteriormente pasar a otros niveles mediante las redes tróficas. En este contexto, la denominación de elemento traza hace referencia a aquellos elementos que se encuentran en cantidades reducidas dentro de los sistemas biológicos. Por ello, términos como metales traza, trazas inorgánicas, metales pesados, microelementos y micronutrientes pueden emplearse para referirse a estos elementos. En organismos de la flora y fauna marina, también se consideran metales traza aquellos presentes en concentraciones inferiores a 100 µg/g en base seca (Ongley, 1997, como se citó en Palomino, 2018).

El análisis de metales en aguas residuales suele orientarse hacia aquellos elementos relacionados con determinadas fuentes de desechos. En el caso de los organismos, Zn, Cu, Cd, Pb y Hg reciben especial atención. Para los sedimentos, los elementos que concentran mayor interés son Cu, Pb y Zn, seguidos por Mn, Ni, Fe, Cd y Cr, mientras que Co, V, Al y Ag son evaluados con

menor frecuencia. El mercurio también es estudiado, aunque generalmente de forma independiente.

El desplazamiento de estos elementos en el ambiente puede producirse mediante procesos vinculados al ciclo hidrológico. Su transporte puede ocurrir a través de la atmósfera, tanto en formas solubles incorporadas a las precipitaciones y aguas marinas como asociadas a partículas, suelos y sedimentos. De esta manera, los metales pueden movilizarse entre diferentes componentes ambientales y alcanzar los sistemas acuáticos (Ongley, 1997, como se citó en Palomino, 2018, p. 7).

1.4.1 Plomo (Pb)

El plomo (Pb) se encuentra de manera natural en la corteza terrestre y puede estar presente, aunque en concentraciones reducidas, en rocas sedimentarias y suelos que no han sido afectados por procesos de contaminación.

En los ecosistemas acuáticos, la presencia de plomo puede generar efectos tóxicos en los organismos. Sin embargo, el nivel de toxicidad puede variar de acuerdo con las características de la calidad del agua y con las especies que se encuentren expuestas. Asimismo, los monitoreos efectuados por la Autoridad Nacional del Agua en ríos de la selva peruana han permitido identificar la presencia de este elemento en concentraciones que superan los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua) (ANA, 2018).

La contaminación de las aguas por plomo según, García A., 1996, citado por Palomino (2018) menciona que:

Se origina principalmente por la acción de sus sales solubles en agua que son generadas durante los procesos químicos en industrias, tales como fábricas de pinturas, foto termografía, pirotecnia, cloración a vidrios y por algunas actividades mineras, entre otras. Las partículas de plomo libres que son emanadas a la atmósfera a partir de dichos procesos, precipitan en los suelos o en las aguas, acumulándose así en los cuerpos de los organismos y seres que allí habitan, afectando su vital funcionamiento y entrando en las cadenas alimenticias.

Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más dañinos son los compuestos orgánicos. Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Cerca del 10% del plomo ingerido es excretado en la orina y en menor cantidad en el sudor, en el pelo y en las uñas. El 90% del plomo que se encuentra en el cuerpo humano se deposita en el esqueleto óseo y es relativamente inerte, y el que pasa a través del torrente sanguíneo puede depositarse en los tejidos. El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son: Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad (p. 8).

1.4.2 Cromo (Cr)

En condiciones naturales, el cromo suele encontrarse en concentraciones reducidas en los cuerpos de agua. No obstante, las actividades relacionadas con la minería y los procesos industriales pueden contribuir al incremento de este elemento en el recurso hídrico. Su presencia resulta relevante debido a que el cromo posee características tóxicas que pueden afectar la salud humana (ANA, 2018).

García A., 1996, como se citó en Palomino (2018) mencionan que:

Sean un riesgo para la salud; se trata de un elemento esencial para el ser humano, pero en altas concentraciones resulta tóxico. El cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de cromo (III) y cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas como son: el acero, las peleterías, las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales (p. 8).

Este metal en estado (VI) es tóxico para los organismos, siendo la dosis letal de unos pocos gramos, causando problemas respiratorios, erupciones cutáneas, daño en riñones

e hígado, infertilidad, alteración en el material genético y cáncer (Camean, 1995, citado por Palomino (2018). No se ha comprobado que el cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de éste, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido.

En forma de cromo (III) es un nutriente esencial y es relativamente no- tóxico para hombre. Sin embargo, el Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causado por el Cromo (VI) son: Erupciones cutáneas, Malestar de estómago y úlceras, Problemas respiratorios, Debilitamiento del sistema inmune, Daño en los riñones e hígado, Alteración del material genético y Cáncer de pulmón.

1.4.3 Cadmio (Cd)

El cadmio es un elemento que forma parte naturalmente de determinados minerales y puede encontrarse asociado principalmente a depósitos que contienen zinc y plomo. Su incorporación a los cuerpos de agua también puede estar vinculada con actividades extractivas y procesos industriales relacionados con la minería y la fundición (ANA, 2018).

Desde el punto de vista toxicológico, el cadmio representa un elemento de interés debido a que puede ingresar al organismo a través del sistema respiratorio o mediante el consumo. En el ambiente acuático, puede interactuar con distintas sustancias y formar especies químicas en solución. Su presencia ambiental responde tanto a procesos naturales, como la alteración de las rocas, como a fuentes asociadas con actividades humanas. Entre estas últimas se encuentran determinadas actividades vinculadas con la producción de zinc, el empleo de fertilizantes fosfatados y las bioindustrias relacionadas con el estiércol. También puede alcanzar la atmósfera como consecuencia de fenómenos como incendios forestales y actividad volcánica. Se estima

que alrededor de 25 000 toneladas de cadmio son liberadas anualmente al ambiente (Palomino, 2018, p. 8).

La exposición de la población al cadmio ocurre principalmente mediante la alimentación. En lugares sin contaminación significativa, el consumo diario estimado por esta vía oscila entre 10 y 40 µg; en cambio, en zonas contaminadas, dicha cantidad puede incrementarse hasta varios cientos de microgramos por día. En ambientes no contaminados, el consumo de tabaco puede representar una fuente de exposición de magnitud similar a la obtenida mediante los alimentos. Asimismo, se ha estimado que una exposición diaria de 140 a 260 µg de cadmio durante el transcurso de la vida, o una acumulación total de aproximadamente 2000 mg o más, puede relacionarse en seres humanos con un aumento de la eliminación urinaria de proteínas de bajo peso molecular (WHO, 1992, como se citó en Juárez, 2012).

1.5. Especiación química de metales pesados

Sierra y Martín (2018) señalan que los metales pesados presentes en las aguas fluviales pueden encontrarse asociados a diferentes formas fisicoquímicas, como complejos orgánicos e inorgánicos, especies hidroxiladas y partículas coloidales. Esta diversidad de formas resulta relevante en la evaluación de la calidad del agua, debido a que tanto el comportamiento geoquímico como los efectos biológicos de estos elementos están condicionados por su especiación. En consecuencia, la concentración total de un metal no permite por sí sola determinar su potencial tóxico, ya que este también depende de la forma en que se encuentre y de su grado de disponibilidad, ya sea disuelto, adsorbido, ligado o precipitado. Asimismo, las características de la sustancia contaminante y su asociación con el medio pueden modificar el efecto que produce. A pesar de ello, las concentraciones totales continúan siendo empleadas habitualmente en los estudios de contaminación debido a la facilidad y reproducibilidad de su determinación (Sierra & Martín, 2018).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación de la zona en estudio

El presente estudio fue realizado en la Microcuenca del río Pongora (figura 1), distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho. Está ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas:

Cota más alta:

Latitud: 13° 04' 43.9" S, Longitud: 74° 13' 48.1" W, Altitud: 2449 msnm

Cota más baja:

Latitud: 13° 03' 52.0" S, Longitud: 74° 16' 18.9" W, Altitud: 2413 msnm.

El valle de río Pongora involucra los centros poblados de Compañía, Chanchará, San Martín de Paraíso, Simpapata y San Juan de la Viñaca del distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho.

Previamente, se realizó el recorrido preliminar de la zona en estudio (figura 2), para identificar los posibles puntos de muestreo y se contactó con autoridades y usuarios de agua para poner en conocimiento sobre las actividades a realizar y su distribución del agua hacia los campos de cultivo. La recolección de las muestras de agua se efectuó en los puntos de extracción previamente establecidos durante la visita de campo anterior, siguiendo los protocolos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Una vez obtenidas, las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su respectivo análisis.

La toma de muestras se realizó en dos periodos del año, correspondientes a la época lluviosa y seca, durante los meses de febrero y agosto, respectivamente. Esto permitió evaluar la calidad del agua destinada al riego del río Pongora en ambos periodos.

Figura 1

Ubicación general de la microcuenca del río Pongora

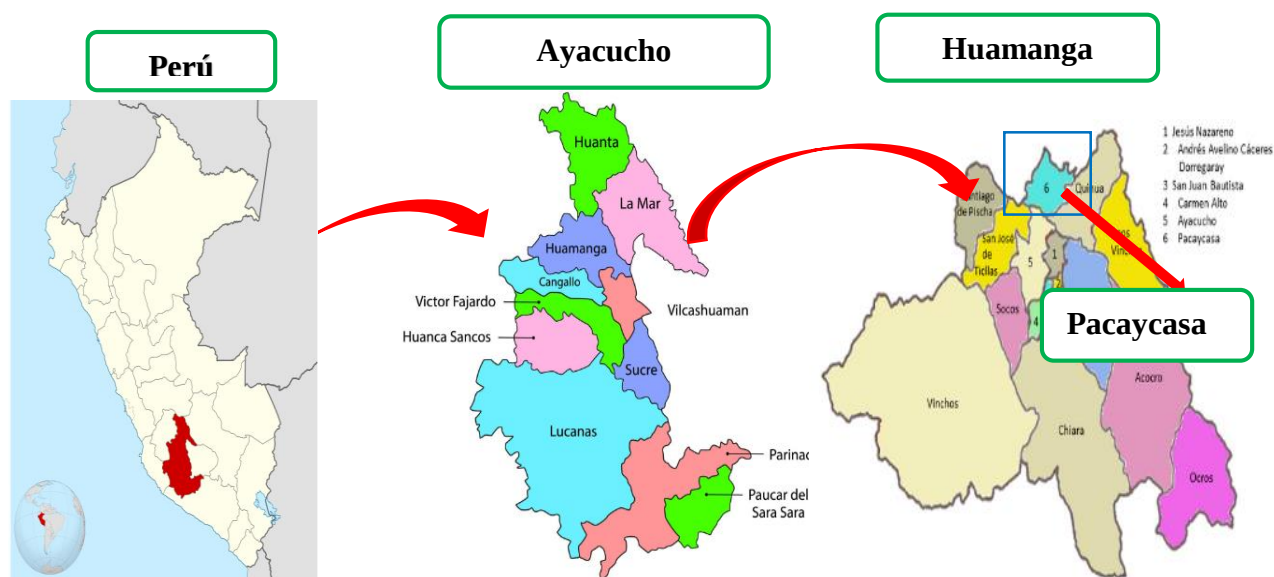
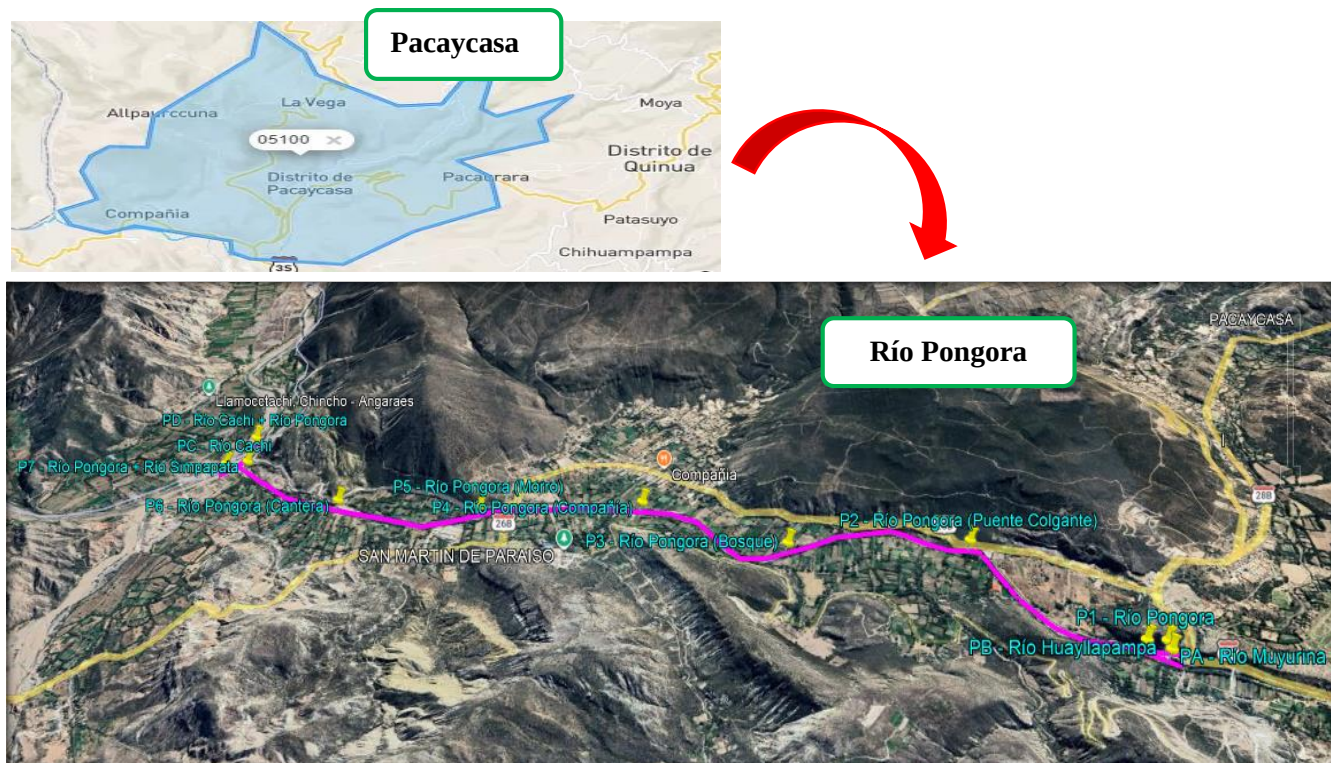


Figura 2

Ubicación de la microcuenca del río Pongora



Nota. Ubicación del valle de río Pongora que involucra los centros poblados de Compañía, Chanchará, San Martín de Paraíso, Simipata y San Juan de la Viñaca del distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho.

2.2. Delimitación de los puntos de muestreo

Se procedió a realizar lecturas del mapa digital y ubicar los puntos de muestreo a nivel del valle de río Pongora cuyo cauce recorre las comunidades de Lagunilla, San Juan de la Viñaca, centro poblado de Compañía, San Martín de Paraíso, Simpapata y Chanchará del distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho. Para estos fines se ha utilizado el software Arc Gis 10.2. con la ayuda del sistema SAS Planet para una mejor identificación de la zona. Cabe señalar que la unión del río Muyurina y río Huayllapampa forman el río Pongora recorriendo aproximadamente 7 kilómetros hasta formar parte del río Cachi, siendo utilizado sus aguas en el riego de las tierras agrícolas de las comunidades del distrito de Pacaycasa.

2.3. Muestreo del agua

Para llevar a cabo la recolección de las muestras de agua, se emplearon los siguientes equipos y materiales:

- ✓ Termómetro
- ✓ Botellas de plástico de 1 L
- ✓ Rotuladores
- ✓ Recipiente para el almacenaje y transporte de las muestras de agua
- ✓ Equipos de protección personal: lentes, mascarilla, guantes.

2.3.1. Lugares de muestreo

El muestreo se realizó durante dos épocas del año, correspondientes al periodo de estiaje y al periodo de lluvias, para lo cual se establecieron previamente los puntos de muestreo mediante coordenadas UTM (figura 3). La tabla 3 expone algunos detalles de la georreferenciación.

Tabla 3

Identificación mediante coordenadas UTM de los puntos de muestreo.

Identificación de puntos de muestreo				
Puntos de muestreo	Descripción	Coordenadas (UTM)		Altitud (msnm)
		Este	Norte	
PA	Río Muyurina	583622.92	8553348.96	2447
PB	Río Huayllapampa	583760.51	8553488.01	2464
1	Río Pongora	583489	8553435	2450
2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	582865.39	8554168.55	2449
3	Río Pongora - Bosque	581848.45	8554142.66	2433
4	Río Pongora - Compañía	581021.96	8554583.76	2423
5	Río Pongora - Morro	580042.05	8554454.09	2418
6	Río Pongora - Cantera	579274.82	8554721.04	2419
7	Río Pongora + Río Simpapata	578987.67	8554979.55	2416
PC	Río Cachi	578854.13	8554933.86	2413
PD	Río Cachi + Río Pongora	578977.68	8555099.51	2419

Figura 3

Ubicación de puntos de muestreo del río Pongora.



El análisis del agua tuvo como finalidad evaluar las características del agua natural superficial, procurando que los resultados obtenidos fueran confiables y acordes con los objetivos de la investigación. Esta información constituye una base para la toma de decisiones relacionadas con la legislación, las medidas de mitigación, el control y la protección del ambiente, de acuerdo con las normas y regulaciones oficiales. Debido a ello, se consideró fundamental obtener muestras representativas, por lo que el proceso de muestreo se realizó cuidadosamente. Para este procedimiento se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Rotulado de los frascos:** cada recipiente fue identificado con el código correspondiente a la estación de muestreo, además de registrar la fecha y la hora exacta de la toma de muestra.
- **Dirección de la toma de muestra:** la recolección se efectuó en sentido contrario al flujo del recurso hídrico, iniciando en el sector aguas abajo y continuando posteriormente hacia aguas arriba.
- **Selección del punto de extracción:** las muestras fueron obtenidas preferentemente de la zona central del río o de sectores donde existiera flujo de agua sin turbulencia. Se evitó realizar la extracción en los márgenes, debido a que en estas zonas el agua puede no encontrarse completamente mezclada y estar expuesta a procesos de evaporación o contaminación.
- **Uso de indumentaria de protección:** durante la recolección se utilizaron guantes de látex y, cuando fue necesario por sospecha de presencia de agua residual, mascarilla.
- **Conservación y transporte:** después de la recolección, los frascos fueron cerrados herméticamente y colocados en un recipiente con hielo, manteniéndolos bajo sombra durante el muestreo y hasta su traslado al laboratorio.

2.3.2. Protocolo de análisis de metales pesados en el laboratorio

a. Materiales y equipos

- ✓ Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- ✓ Lámpara de cátodo hueco de los elementos cadmio, cromo y plomo

- ✓ Quemador de 100 mm.
- ✓ Plancha de Calentamiento para digestión de muestras.
- ✓ Agitador Magnético
- ✓ Agitadores de Teflón.
- ✓ Cabina Extractora de Gases

b. Reactivos

- ✓ Patrón estándar certificado de 1000 mg/L del elemento a analizar
- ✓ Ácido Nítrico grado Analítico al 65% (Concentrado).
- ✓ Agua Destilada –Acidulada.

c. Material de Vidrio

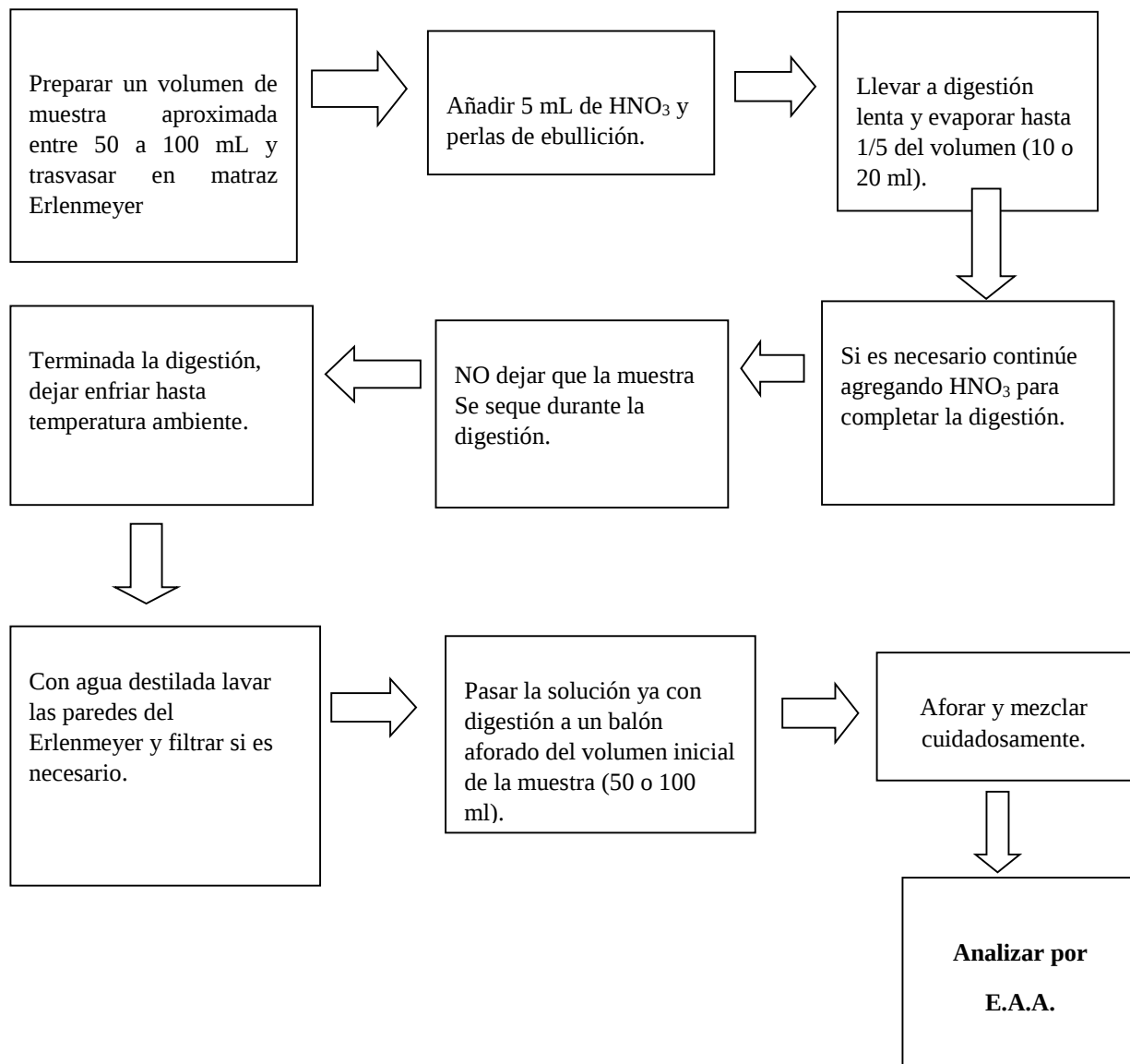
- ✓ Erlenmeyer Clase A de 100 mL
- ✓ Balones Aforados Clase A de 2000, 200, 100 y 50 mL
- ✓ Vasos de precipitado de 250 y 100 mL
- ✓ Pipetas aforadas de 1, 2, 5, 10, 20 y 25 mL
- ✓ Pipetas graduadas clase A de 5 y 10 mL.
- ✓ Probetas graduadas clase A de 50 y 100 mL.
- ✓ Embudos analíticos.

2.3.3. Protocolo en el Tratamiento de la Muestra

El tratamiento de las muestras tuvo como finalidad eliminar la materia orgánica presente, de manera que el analito de interés pudiera ser obtenido sin interferencias. Debido a que las técnicas instrumentales pueden requerir diferentes condiciones de preparación según el nivel de concentración del analito, se consideraron dos procedimientos de análisis: uno destinado a concentraciones superiores a 1,0 mg/L y otro para concentraciones en niveles traza iguales o inferiores a 0,1 mg/L. Para el procesamiento de las muestras se siguió el esquema presentado en la (figura 4):

Figura 4

Esquema general del tratamiento de muestra tomado.



Nota: Esquema general del tratamiento de muestra tomado del SMWW, edición 21, 2005, como se citó en (Palomino, 2018).

2.3.4. Procedimiento de preparación de estándares para la curva de calibración

- **Soluciones estándar intermedias de 100 mg/L de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn:** para preparar cada solución de manera independiente, se extrajeron 10 mL del patrón correspondiente de 1000 mg/L y se aforaron hasta 100 mL con agua destilada, utilizando un balón aforado.
- **Estándares de calibración:** para elaborar las curvas de calibración mediante absorción atómica (A.A.), se prepararon los estándares utilizando agua acidulada, sin realizar digestión. Para cada elemento se emplearon tres niveles de concentración, correspondientes a valores bajo, medio y alto, con la finalidad de abarcar el intervalo de linealidad establecido durante la validación y de acuerdo con las indicaciones del manual del espectrofotómetro Perkin Elmer.
- **Curva de calibración para cadmio soluble:** se utilizaron concentraciones de 0,5; 1,0 y 1,5 mg/L, estableciéndose 1,5 mg/L como estándar de ajuste o verificación.
- **Curva de calibración para cromo soluble:** se emplearon concentraciones de 1,0; 2,0 y 3,0 mg/L, considerando 3,0 mg/L como estándar de ajuste o verificación de sensibilidad.
- **Curva de calibración para plomo soluble:** se prepararon estándares de 1,0; 2,0 y 3,0 mg/L, utilizando 3,0 mg/L como estándar de ajuste o verificación.

2.3.5. Procedimiento de análisis

- **Preparación del equipo:** previamente al análisis, se siguieron las indicaciones establecidas en el instructivo del espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer A Analyst, modelo 400.
- **Uso de estándares:** se emplearon los estándares preparados de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente.
- **Determinación de metales solubles:** las lecturas se efectuaron sobre el filtrado obtenido después de pasar las muestras por papel filtro. Posteriormente, los filtrados fueron preservados con ácido nítrico hasta alcanzar un pH menor de 2.

- **Determinación de metales totales:** para este análisis se realizó previamente la digestión de las muestras.
- **Configuración de las condiciones de análisis:** se revisaron las condiciones correspondientes al metal que sería determinado y se establecieron los parámetros respectivos en el equipo.
- **Ingreso de la curva de calibración:** la curva de calibración se incorporó al equipo siguiendo las indicaciones establecidas en el instructivo.
- **Lectura de las muestras:** cada muestra fue aspirada para efectuar su lectura, verificando que su concentración y la absorbancia obtenida se mantuvieran dentro del intervalo establecido por la curva de calibración y no superaran los valores correspondientes al estándar de mayor concentración.
- **Enjuague del equipo:** después de analizar cada muestra, se aspiraron agua destilada y agua acidulada con la finalidad de realizar el enjuague del equipo.
- **Apagado del equipo:** una vez finalizado el análisis, el espectrofotómetro se apagó siguiendo las indicaciones establecidas en su instructivo.

2.3.6. Medición de variables físicas y químicas

a. Temperatura

La temperatura del agua del río Pongora fue registrada directamente en campo durante las campañas de monitoreo realizadas en dos periodos: la época de estiaje, correspondiente a julio y agosto de 2021, y la época de lluvias, durante febrero y marzo de 2022. Las mediciones se efectuaron en los once puntos de muestreo establecidos para el estudio, con el propósito de obtener valores representativos de las condiciones del cuerpo de agua en cada periodo.

Para cada medición se utilizó un termómetro digital portátil, previamente verificado para garantizar lecturas confiables. El sensor del equipo fue introducido aproximadamente entre 10 y 20 cm por debajo de la superficie del agua, evitando el contacto con el lecho del río, las orillas y otros elementos que pudieran modificar el resultado. Se esperó hasta que el equipo mostrara una lectura estable y,

posteriormente, el valor obtenido fue registrado inmediatamente en la ficha de campo, expresándose en grados Celsius (°C).

Las mediciones se efectuaron en el mismo momento de la recolección de las muestras de agua, con el propósito de evitar variaciones ocasionadas por la exposición al ambiente o el transporte de las muestras. Asimismo, durante las campañas de julio y agosto de 2021, representativas de la época de estiaje, y de febrero y marzo de 2022, correspondientes a la época de lluvias, se aplicó el mismo procedimiento en todos los puntos de monitoreo, garantizando la uniformidad en la obtención de la información y permitiendo la comparación de los resultados entre ambas temporadas hidrológicas.

Los registros de temperatura obtenidos constituyeron uno de los parámetros físicos empleados para evaluar la calidad del agua del río Pongora y analizar las variaciones espaciales y estacionales del recurso hídrico dentro del área de estudio.

b. Turbidez

La turbidez del agua del río Pongora fue determinada durante las campañas de muestreo realizadas en la época de estiaje y en la época de lluvia. Para cada análisis, se colocó una alícuota de aproximadamente 5 mL de la muestra en la celda limpia del turbidímetro, verificando previamente que no presentara burbujas de aire, huellas o partículas adheridas que pudieran interferir con la lectura. Posteriormente, la celda se introdujo en el equipo y se efectuó la medición y la lectura de forma directa. El resultado obtenido se registró en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) para cada punto de monitoreo. El mismo procedimiento se aplicó en todas las muestras recolectadas durante ambas temporadas, asegurando la uniformidad en la obtención de los datos y facilitando la comparación de los niveles de turbidez entre la época de estiaje y la época de lluvia.

c. Sólidos Suspendidos Totales

La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua del río Pongora se determinó mediante el método gravimétrico, utilizando las muestras obtenidas durante las campañas de

monitoreo correspondientes a las épocas de estiaje y lluvias. El procedimiento aplicado fue el siguiente:

- ✓ Se recolectó la muestra de agua en cada uno de los once puntos de monitoreo establecidos en el río Pongora.
- ✓ Se tomó un volumen conocido de la muestra y se filtró a través de un filtro de fibra de vidrio previamente acondicionado y pesado.
- ✓ El filtro que contenía el material retenido se colocó en una estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante.
- ✓ Después del secado, el filtro se retiró de la estufa y se dejó enfriar en un desecador para evitar la absorción de humedad.
- ✓ Una vez enfriado, el filtro fue pesado utilizando una balanza analítica para obtener la masa final.
- ✓ La concentración de sólidos suspendidos totales se calculó mediante la diferencia entre el peso final y el peso inicial del filtro, considerando el volumen de agua filtrado.
- ✓ Los resultados se expresaron en miligramos por litro (mg/L) y se registraron para cada punto de muestreo, permitiendo comparar los valores obtenidos durante los periodos de estiaje y de lluvias.

d. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua de riego del río Pongora se determinó durante las campañas de muestreo correspondientes a la época de estiaje y a la época de lluvia. El procedimiento desarrollado fue el siguiente:

- ✓ Se recolectaron muestras de agua de riego del río Pongora durante las campañas de monitoreo realizadas en la época de estiaje y en la época de lluvia.
- ✓ Se colocaron aproximadamente 20 mL de la muestra en un recipiente limpio, asegurando que no presentara impurezas o burbujas que pudieran afectar la medición.
- ✓ Se introdujo el electrodo del conductímetro en la muestra, verificando que permaneciera completamente sumergido durante la lectura.

- ✓ Se esperó hasta que el equipo mostrara un valor estable y se registró la conductividad eléctrica obtenida.
- ✓ Los resultados fueron expresados en siemens por metro (S/m) o en sus subunidades, como microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$), según la configuración del equipo utilizado.
- ✓ El mismo procedimiento se aplicó a todas las muestras recolectadas en los puntos de monitoreo durante ambas épocas hidrológicas, con el fin de garantizar la uniformidad de las mediciones y facilitar la comparación de los valores obtenidos en cada uno de los periodos evaluados

e. pH

La medición del pH del agua de riego del río Pongora se realizó durante las campañas de muestreo correspondientes a la época de estiaje y a la época de lluvia. El procedimiento empleado fue el siguiente:

- ✓ Se recolectó la muestra de agua en recipientes limpios, evitando cualquier alteración de sus características fisicoquímicas.
- ✓ Se transfirieron aproximadamente 50 mL de la muestra a un vaso de precipitados previamente lavado.
- ✓ Se verificó la calibración del potenciómetro con soluciones tampón antes de iniciar las mediciones.
- ✓ Se introdujo el electrodo del potenciómetro en la muestra, asegurando que quedara completamente sumergido y sin contacto con las paredes del recipiente.
- ✓ Se aguardó hasta alcanzar la estabilización de la lectura del equipo y, posteriormente, se registró el valor obtenido.
- ✓ El resultado se expresó en unidades de pH y fue anotado en la ficha de campo o en el registro de laboratorio.
- ✓ Entre cada determinación, el electrodo se enjuagó con agua destilada y se secó cuidadosamente con papel absorbente libre de pelusa para evitar la contaminación entre muestras.

- ✓ El mismo procedimiento se aplicó a todas las muestras obtenidas en los puntos de monitoreo durante las épocas de estiaje y lluvias, garantizando la uniformidad de las mediciones y la comparación de los resultados entre ambas temporadas.

f. Metales pesados (Plomo, Cadmio, Cromo)

La determinación de las concentraciones de cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) en el agua de riego del río Pongora se efectuó utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (AAS), a partir de las muestras recolectadas durante las campañas de monitoreo de la época de estiaje y de la época de lluvia. El procedimiento de digestión del agua desarrollado fue el siguiente:

- ✓ Se ha vertido 50 mL de H₂O en un matraz Erlenmeyer de 125 mL.
- ✓ Se añadió 5 mL de [HNO₃] ácido nítrico.
- ✓ Se digesta lentamente la muestra de agua con ataques sucesivos con HNO₃ concentrado hasta que el volumen disminuya a 10 – 20 mL.
- ✓ Se enfría a temperatura del medio ambiente (30°C)
- ✓ Se ha filtrado en un recipiente limpio con ayuda de un embudo y papel filtro, siempre haciendo el enjuague con un poco de agua destilada.
- ✓ Seguidamente se afora en una fiola a un volumen de 50 mL con agua destilada.
- ✓ En el extracto se mide la concentración en mg/Lt usando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica. El equipo reporta la concentración de cada ion metálico en mg/L referente a la curva de calibración. En las muestras que hayan sido diluidas previamente, el valor obtenido se corrigió aplicando el factor de dilución correspondiente.

$$\text{mg de metal/L de muestra} = A * (V \text{ final}/V \text{ alícuota})$$

Siendo:

$A =$ mg/L de metal en alícuota diluida o muestra procesada, de la curva de calibración,

V_{final} = Volumen al que se llevó la alícuota a diluir.

$V_{\text{alícuota}}$ = ml tomados de alícuota de muestra.

2.4 Procedimiento para la determinación del índice de calidad del agua (ICA) del río Pongora

2.4.1 Límites máximos permisibles de los parámetros físicos y químicos del agua de riego

Dentro del rango de los límites permisibles de agua de riego en cuanto a contenido de ciertos parámetros se presentan en la siguiente (tabla 4).

Tabla 4

Límites máximos permisibles de los parámetros físicos y químicos del agua de riego

Parámetros evaluados		Unid	ECA Cat 3 (LMP)
Variables Físicas	Temperatura	(°C)	30
	Turbidez	(NTU)	6
	Sólidos		
	Suspendidos Totales	(ppm)	2000
Variables Químicas	pH	Unid. de pH	6.5 - 8.5
	C.E.	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2500
	Cadmio	(ppm ó mg/L)	0.01
	Cromo	(ppm ó mg/L)	0.1
	Plomo	(ppm ó mg/L)	0.05

Fuente: (MINAM, 2017)

La investigación comprendió dos campañas de muestreo efectuadas en los periodos de estiaje y lluvias. Durante estas jornadas se recolectaron muestras de agua del río Pongora, las cuales fueron sometidas al análisis de sus parámetros físicos y químicos en laboratorio, para posteriormente contrastar los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM y el cálculo del Índice

de Calidad del Agua Peruano (ICA-PE). Finalmente, los datos obtenidos fueron analizados, calculados e interpretados para evaluar la calidad del agua destinada al riego agrícola.

2.4.2 Determinación de los factores del ICA – PE

El procedimiento para calcular el índice de calidad del agua, requiere previamente evaluar lo siguiente:

a. F1 – Alcance

Este indicador permite identificar la proporción de parámetros evaluados cuyos resultados se encuentran fuera de los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) vigentes, en relación con el número total de parámetros considerados en el análisis (ANA, 2018).

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

b. F2 – Frecuencia

Permite determinar la proporción de resultados que se encuentran fuera de los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), tomando como referencia el total de datos obtenidos de los parámetros evaluados (ANA, 2018).

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que NO cumplen los ECA – Agua de los Datos Evaluados}}{(\text{Número Total de Datos Evaluados})}$$

c. F3 – Amplitud

Expresa el grado de alejamiento de los resultados respecto a los valores de referencia, considerando de manera conjunta los excedentes identificados y su relación con el número total de datos evaluados (ANA, 2018).

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

✓ **Suma normalizada de excedentes**

$$SNE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

✓ **Excedentes positivos**

$$E_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que NO cumple el ECA del agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA del agua}} \right) - 1$$

✓ **Excedentes negativos**

$$E_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA del agua}}{\text{Valor del parámetro que NO cumple el ECA del agua}} \right) - 1$$

d. Determinación del ICA – PE del agua

Con los valores obtenidos para F1, F2 y F3, se determina el Índice de Calidad del Agua (ICA) mediante la diferencia entre 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados correspondientes a estos tres factores. El resultado se expresa en una escala de 0 a 100, en la que el valor máximo representa una calidad excelente, mientras que el valor mínimo corresponde a una calidad pésima.

La fórmula general del ICA – PE se expresa en la siguiente ecuación:

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

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características físicas y químicas del agua del río Pongora en la época de estiaje

3.1.1 Características físicas del agua del río Pongora en la época de estiaje

La temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales fueron las variables evaluadas en la época de estiaje la que se muestra en la tabla 5. La temperatura es variable a lo largo del recorrido del río en la microcuenca siendo más fría en el punto de muestreo S – P “B” con 10.5 °C que corresponde al Río Huayllapampa y, el más alto, en el punto S – P7 con 21.6 °C que corresponde a la unión del Río Pongora y Río Simpapata.

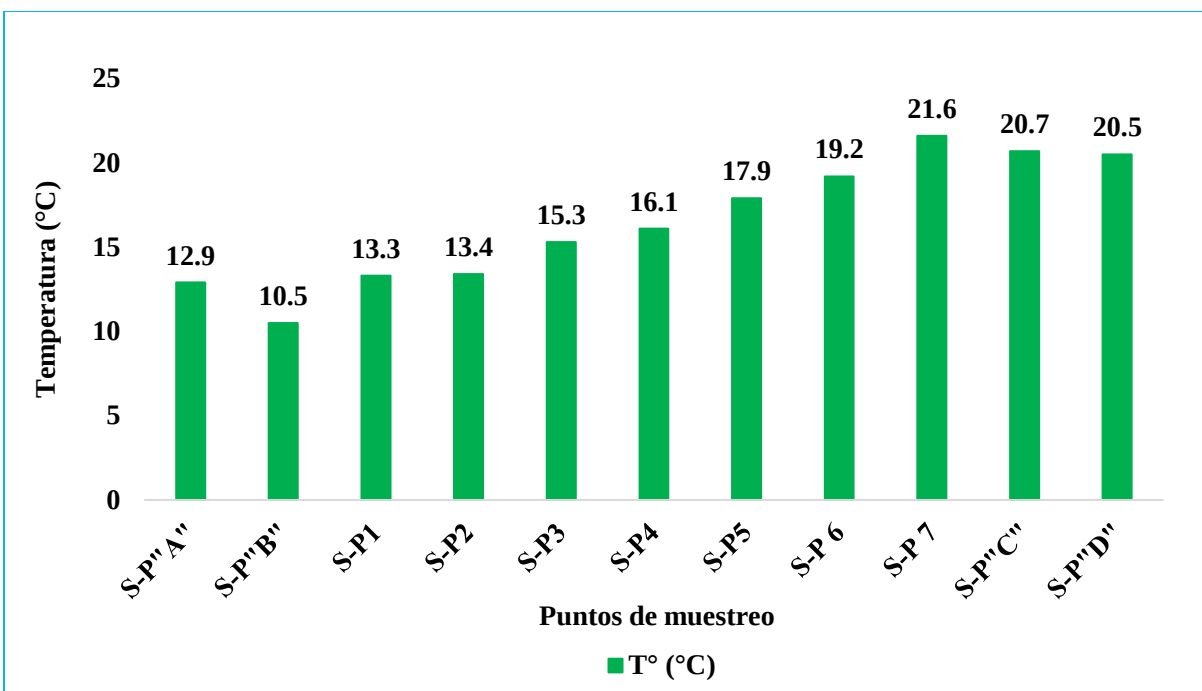
Tabla 5

Temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) del río de la microcuenca Pongora en la época de estiaje.

Puntos de muestreo	Descripción	T° (°C)	Turbidez (NTU)	SST (ppm)
S-P "A"	Río Muyurina	12.9	15.9	52.4
S-P "B"	Río Huayllapampa	10.5	1.08	35.6
S-P 1	Río Pongora	13.3	3.37	74.6
S-P 2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	13.4	3.16	68.2
S-P 3	Río Pongora - Bosque	15.3	2.43	56.7
S-P 4	Río Pongora - Compañía	16.1	3.82	66.5
S-P 5	Río Pongora - Morro	17.9	1.02	71.3
S-P 6	Río Pongora - Cantera	19.2	10.5	57.3
S-P 7	Río Pongora + Río Simpapata	21.6	1.94	68.9
S-P "C"	Río Cachi	20.7	1.87	81.3
S-P "D"	Río Cachi + Río Pongora	20.5	1.24	57.1

Figura 5

Temperatura del agua del río Pongora en la época de estiaje



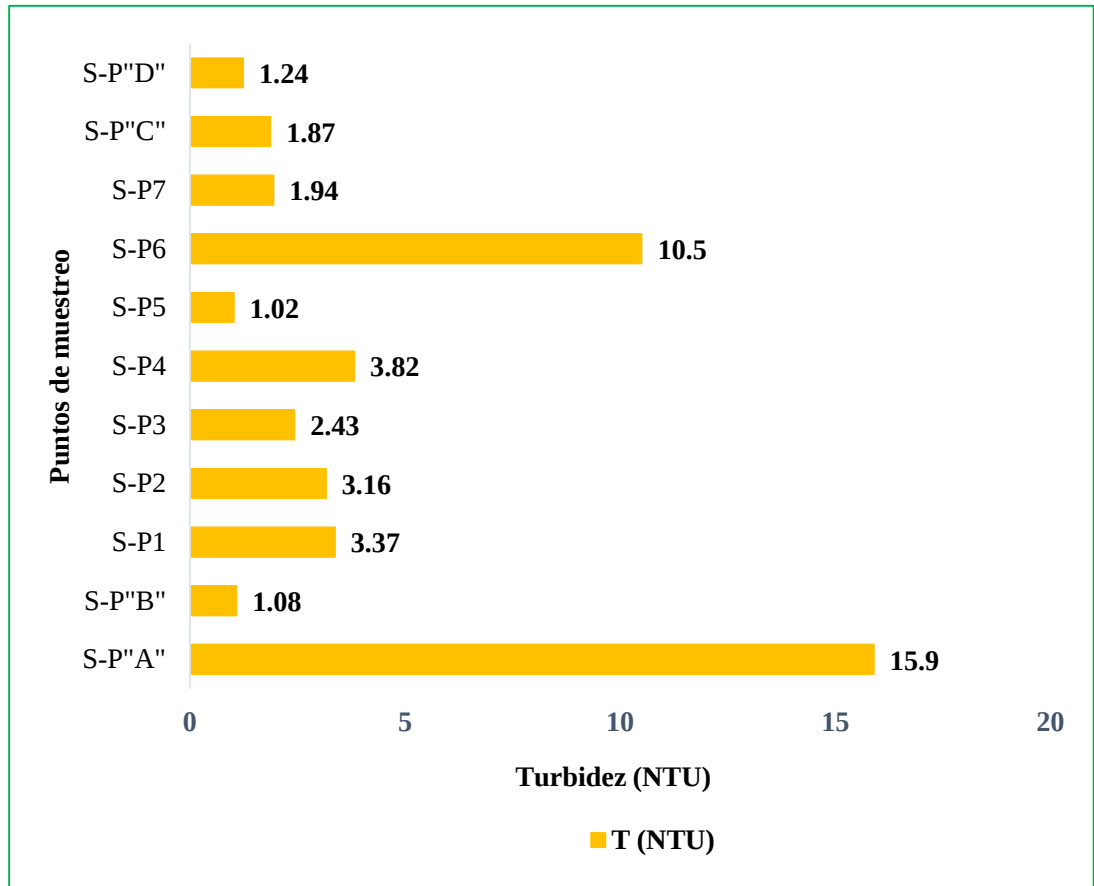
La temperatura del agua, cuyos resultados se presentan en la (figura 5), constituye un parámetro físico relacionado con el nivel de movimiento de las moléculas que la conforman. Su variación resulta relevante debido a que influye en la capacidad del agua para transportar oxígeno, siendo las temperaturas más bajas las que permiten una mayor disponibilidad de este elemento para los organismos acuáticos. Asimismo, la temperatura puede influir en la fotosíntesis de plantas y algas y en la respuesta de los organismos frente a los residuos tóxicos. Si bien el incremento de este parámetro puede estar asociado con la descarga de aguas calientes provenientes de actividades industriales, principalmente aquellas utilizadas en procesos de refrigeración, en las condiciones de la zona de estudio se puede inferir que la menor presencia de árboles en las riberas del río, y consecuentemente la reducida sombra sobre el agua, podría estar relacionada con el aumento registrado (Larance et al., 2025).

La temperatura del agua del río Pongora, presenta variaciones debido a factores ambientales e hidrológicos como la radiación solar, la temperatura del aire, el caudal, la profundidad y la cobertura vegetal ribereña. Además, las actividades humanas, entre ellas la deforestación que modifican el régimen térmico fluvial.

En referencia a la turbidez (figura 6), un valor relativamente alto se verifica en el punto S – P “A” con 15.9 NTU y el segundo más alto en el punto S- P6 con 10.5 NTU correspondiente al Río Pongora – Cantera. Los tributarios que afloran en el trayecto hacia el punto de muestreo S-P5, ha condicionado que la turbidez baje sustancialmente a 1.02 unidades nefelométricas de turbidez.

Figura 6

Turbidez del agua del río Pongora en la época de estiaje.



Los valores de turbidez registrados en el río Pongora durante la época seca variaron entre 1.02 y 15.9 NTU, presentando un promedio general de 4.8 NTU. Los valores más bajos se observaron en los puntos S-P5 (1.02 NTU) y S-P"B" (1.08 NTU), mientras que los más altos correspondieron a S-P"A" (15.9 NTU) y S-P6 (10.5 NTU). Esta variación sugiere diferencias locales en las condiciones del cauce, influenciadas por procesos de erosión de suelos, escorrentía superficial, sedimentación natural o actividades agrícolas en las riberas del río.

Según la FAO (1994), la presencia de turbidez en el agua utilizada para riego no ocasiona un efecto perjudicial directo sobre los cultivos. Sin embargo, cuando este parámetro supera los 10 NTU, puede favorecer la obstrucción de los componentes utilizados en sistemas de riego por goteo y aspersión, además de afectar la eficiencia hidráulica. En ese contexto, la mayoría de los puntos de muestreo del río Pongora presentan valores dentro del rango aceptable, con excepción de los puntos S-P"A" y S-P6, donde la turbidez es relativamente alta (15.9 y 10.5 NTU, respectivamente), lo que podría requerir una filtración previa si se utiliza en sistemas presurizados.

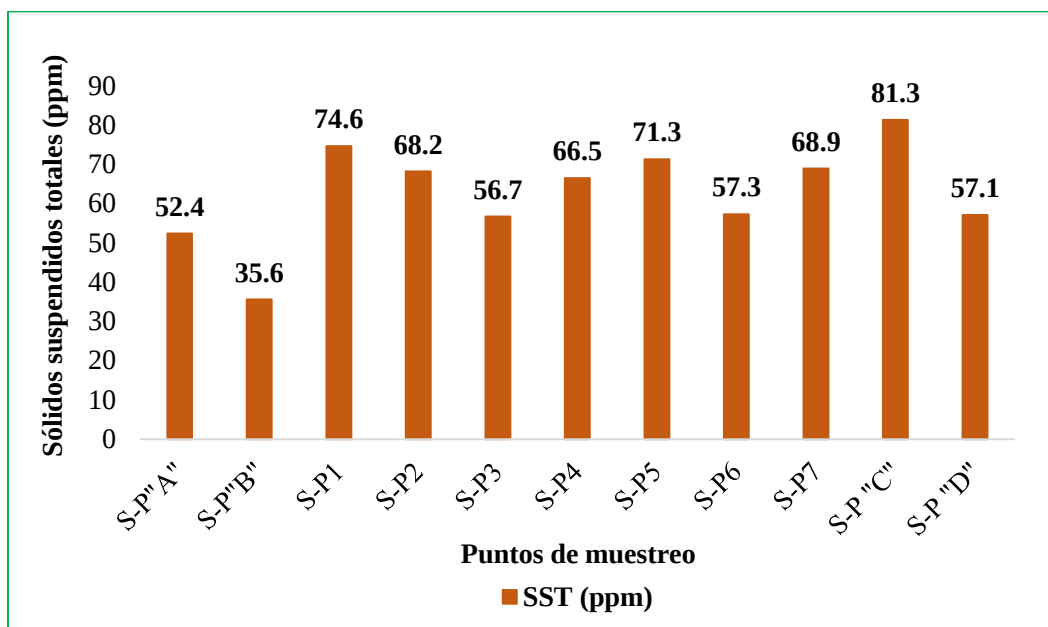
A nivel comparativo, Gutiérrez (2019), en una investigación orientada a evaluar la calidad del agua del río Cachi (Ayacucho), reportó valores de turbidez que oscilaron entre 2.1 y 8.6 NTU durante la época seca, atribuyendo los incrementos a la remoción de suelos agrícolas y a la deforestación de las márgenes. Estos resultados coinciden parcialmente con los del río Pongora, donde los valores más elevados también podrían deberse a procesos erosivos o aporte de sedimentos finos por actividades humanas. De igual forma, Quispe (2021), en su investigación sobre la calidad del agua del río Mantaro, encontró valores entre 1.5 y 12 NTU, observando una correlación entre los valores más altos y las zonas agrícolas con pendiente pronunciada.

En conjunto, los resultados obtenidos en el río Pongora indican que la turbidez en época seca se mantiene en niveles bajos a moderados, dentro de los límites establecidos para riego. No obstante, los puntos con valores más altos evidencian la necesidad de monitorear periódicamente la calidad del agua y de aplicar prácticas de conservación de suelos, como barreras vivas o franjas vegetativas, con el fin de reducir el arrastre de sedimentos hacia el cauce.

En referencia a los sólidos suspendidos totales durante la época seca que se muestran en la figura 7, se verifica que los valores registrados se encuentran entre 35.6 y 81.3 mg/L, siendo el promedio 62.7 mg/L. Este rango es coherente con lo reportado por estudios internacionales que muestran que en periodos de baja escorrentía las aguas presentan menores concentraciones de partículas suspendidas. Por ejemplo, en Ghana se reportaron valores de TSS entre 10 y 40 mg/L en época seca, frente a 20-90 mg/L en época de lluvias, lo que sugiere que la carga de sólidos se reduce notablemente en estiaje (Adu et al., 2025). En el contexto de riego localizado, la Food and Agriculture Organization (FAO) establece que concentraciones de sólidos suspendidos por debajo de 50 mg/L implican pocas restricciones, mientras que 50-100 mg/L requieren atención especial, y más de 100 mg/L suelen generar riesgo de obstrucción en sistemas de goteo (FAO, 1998). En el caso peruano, aunque no existe una normativa nacional específica para SST en riego, se reconoce este parámetro como indicador de alteración física del agua superficial (ANA, 2016).

Figura 7

Sólidos suspendidos totales (SST) del río Pongora en la época de estiaje.



Los datos del río Pongora (62.7 mg/L) se ubican, por tanto, en el rango medio 50-100 mg/L considerado como moderadamente restrictivo para riego localizado. Esto implica que, en época seca, aunque la carga de sedimentos está reducida respecto a épocas de lluvia, el

riesgo de obstrucción de emisores aún es real si no se implementan filtros o mantenimiento adecuado. Comparativamente, en la literatura técnica de floricultura se menciona que “niveles por debajo de 50 mg/L son considerados de bajo riesgo, mientras que valores entre 50-100 mg/L implican riesgo moderado para sistemas de goteo” (Fisher et al., 2011, p. 20).

En el ámbito local, aunque no se encontró un estudio exacto para el río Pongora en época seca, trabajos en cuencas andinas como la del río Totorilla (Ayacucho) señalan que las concentraciones de SST se incrementan en la temporada de lluvias, lo que refuerza que en el estiaje las condiciones son más favorables, pero todavía requieren vigilancia (Hinostroza & Jiménez, 2024).

En resumen, la calidad del agua del río Pongora en época seca es relativamente buena desde la perspectiva de sólidos suspendidos totales, pero no se puede afirmar que no presenta riesgo. Los valores sugieren que se aplique filtración adecuada, mantenimiento del sistema de riego y monitoreo continuo para evitar que episodios puntuales que incrementen los valores y afecten la operación del riego.

3.1.2 Características químicas del agua del río Pongora en la época de estiaje

En la tabla 6, se muestran los resultados de la evaluación de algunos caracteres químicos como el pH, conductividad eléctrica y concentración de metales pesados como el cadmio, cromo y plomo. El comportamiento de los valores del pH (figura 7) en todos los puntos de muestreo están dentro del rango considerado normal de 6.5 – 8.5 de pH para aguas superficiales, siendo el promedio 7.25. En la gráfica observamos el pH con el mayor valor en punto de muestreo S-P “C” con 7.48 y el menor valor en el punto de muestreo S-P4 con 7.09. Mantener un pH balanceado en el agua es crítico para la vida acuática sana. Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones declinen. Por esa razón, generalmente los científicos de la calidad del agua, la analizan para determinar la salud de los arroyos, los lagos, los ríos y el agua del suelo.

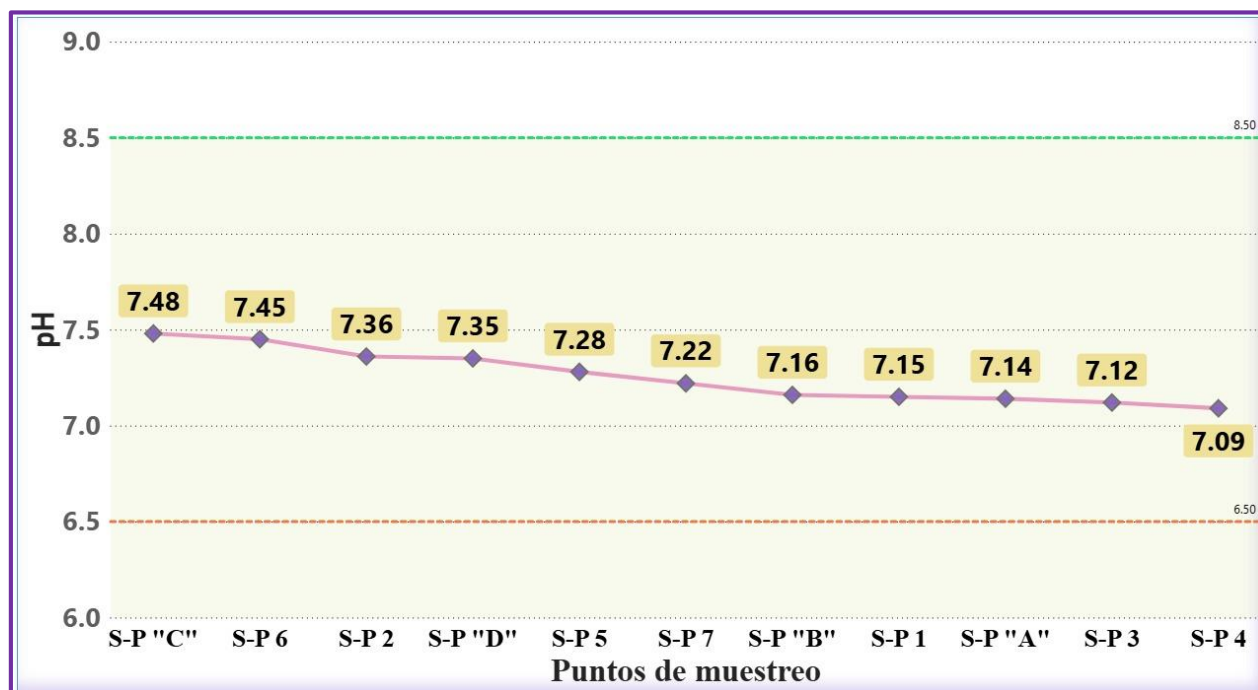
Tabla 6*Atributos químicos del agua del río Pongora en la época de estiaje*

Puntos de muestreo	Descripción	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Cd	Cr	Pb
				(ppm)		
S-P "A"	Río Muyurina	7.14	253	0.01	ND	ND
S-P "B"	Río Huayllapampa	7.16	165	0.01	ND	ND
S-P 1	Río Pongora	7.15	349	0.03	ND	ND
S-P 2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	7.36	551	0.03	ND	ND
S-P 3	Río Pongora - Bosque	7.12	497	0.02	ND	ND
S-P 4	Río Pongora - Compañía	7.09	602	0.02	ND	ND
S-P 5	Río Pongora - Morro	7.28	635	0.01	ND	ND
S-P 6	Río Pongora - Cantera	7.45	677	0.01	ND	ND
S-P 7	Río Pongora + Río Simpapata	7.22	598	0.01	ND	ND
S-P "C"	Río Cachi	7.48	992	0.02	ND	ND
S-P "D"	Río Cachi + Río Pongora	7.35	864	0.01	ND	ND

Los resultados de pH obtenidos en los diferentes puntos de muestreo se presentan en la (figura 8). Los valores registrados se encuentran entre 6,5 y 8,5, rango considerado normal para aguas superficiales, con un promedio de 7,25. El valor máximo se obtuvo en el punto de muestreo S-P "C", con 7,48, mientras que el mínimo correspondió al punto S-P4, con 7,09. En conjunto, los resultados se mantienen dentro del límite máximo permisible, debido a que variaciones elevadas o reducidas del pH pueden alterar el equilibrio químico del agua y favorecer la movilización de contaminantes, generando condiciones tóxicas.

Figura 8

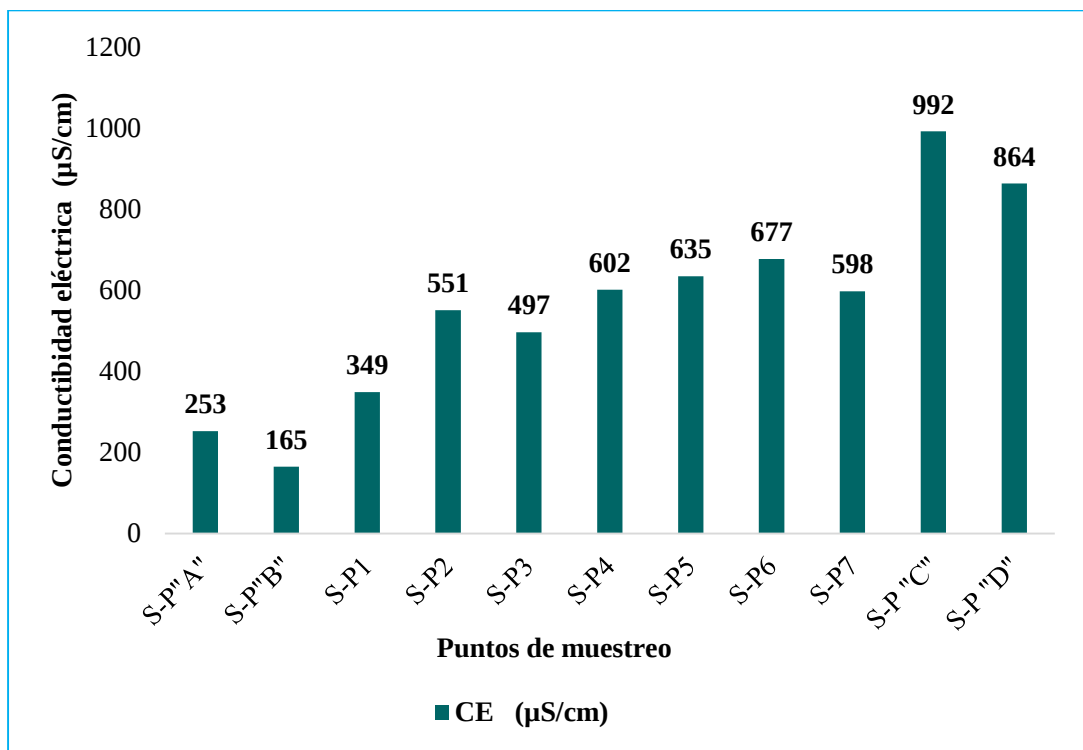
pH del agua del río Pongora en la época de estiaje



En la (figura 9) se muestran los resultados de conductividad eléctrica registrados en el agua del río Pongora durante la época seca. Los valores obtenidos oscilaron entre 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiente al punto S-P "B", y 992 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrado en S-P "C", con un promedio de 562,09 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad eléctrica se relaciona con la presencia de electrolitos disueltos en el agua y se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Al comparar los resultados obtenidos con el valor establecido en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, se observa que todos los puntos de muestreo presentan valores inferiores al límite señalado. Asimismo, considerando que las aguas con conductividades superiores a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no son recomendables para riego, los valores registrados durante la época seca se encuentran por debajo de dicho nivel (MINAM, 2017).

Figura 9

Conductividad eléctrica del agua del río Pongora en la época de estiaje



La conductividad del agua natural en la microcuenca puede variar en función de las características del terreno por el cual circula y de los materiales y sales que logra incorporar durante su recorrido. Asimismo, este comportamiento está relacionado con factores como el tipo de sales presentes, el tiempo de contacto y disolución, la temperatura, los gases disueltos y el pH, debido a su influencia sobre la solubilidad de las sustancias en el agua (American Public Health Association - [APHA], 2023).

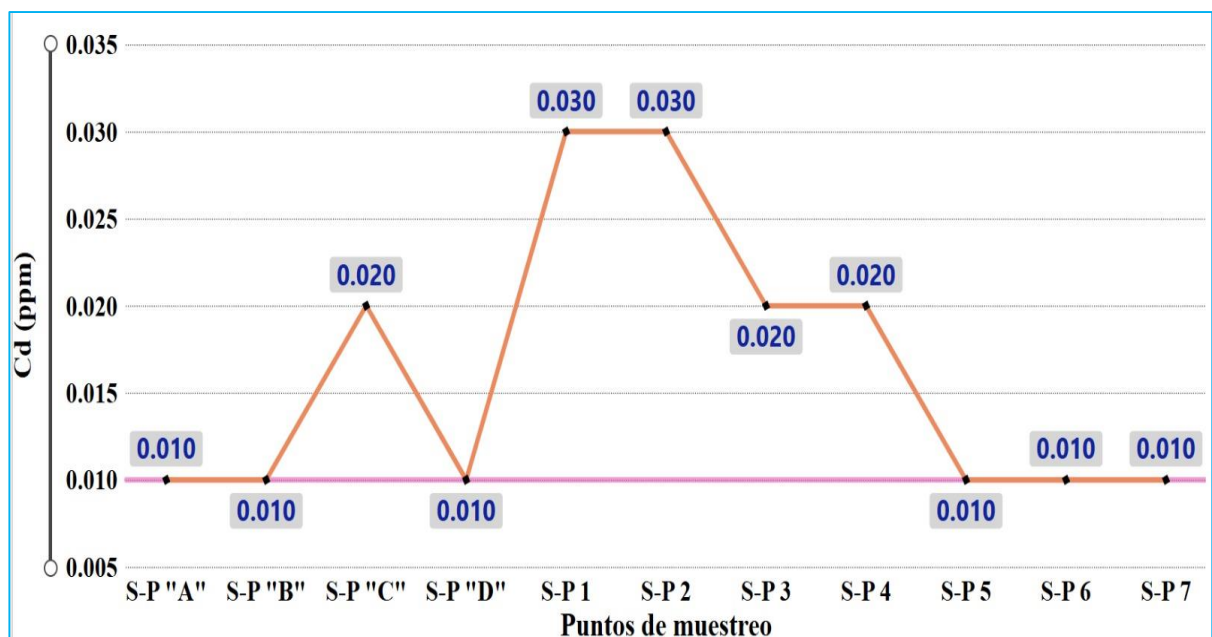
3.1.3 Concentración de metales pesados en el agua del río Pongora en la época de estiaje

3.1.3.1 Cadmio en el agua del río Pongora en la época de estiaje.

El comportamiento del cadmio en el agua de río Pongora (figura 10), oscila entre 0.01 ppm y 0.03 ppm en los puntos de muestreo S-P “A”, S-P “B”, S-P “D”, S-P4, S-P6, S-P7) y también en S-P1, S- P2 respectivamente, siendo el promedio 0.016 ppm. Todas las muestras superan el límite máximo permisible del cadmio es 0.005 mg/L o ppm. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha establecido un Nivel Máximo de Contaminante (MCL) de 0.005 mg/L de cadmio para el agua potable y cuerpos de agua de por vida.

Figura 10

Concentración de cadmio en el agua del río Pongora en la época de estiaje



Según el MINAM (2017) que menciona al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el límite máximo permisible (LMP) para el cadmio es 0.01 mg/L para riego de vegetales. En base a este decreto el cadmio en los puntos de muestreo (S-P “A”, S-P “B”, S-P “D”, S-P5, S-P6, S-P7) que contienen de 0.01 mgr/L, están en el LMP; mientras que los puntos de

muestreo: S-P “C”, S-P3, S-P4 con el valor de 0.02 mgr/L, y los puntos S-P1, S-P2 con 0.03 mgr/L, llegan a superar el LMP de cadmio en el agua de río Pongora. Las altas concentraciones de cadmio (Cd) en ríos para riego provocan la bioacumulación del metal en los tejidos comestibles de los vegetales, superando los límites permitidos, lo que conlleva riesgos severos de toxicidad crónica en humanos (daños renales y hepáticos). Además, causa fitotoxicidad, inhibiendo el crecimiento, la fotosíntesis y la producción de los cultivos. En los terrenos agrícolas circundantes al río Pongora, se desarrolla una intensa actividad agrícola con uso intensivo de agroquímicos muchas veces sin asesoría técnica que deriva en un uso irracional que trae consigo acumulación de contaminantes. Existen hallazgos experimentales que indican que el cadmio podría acumularse debido al uso intensivo de fertilizantes fosfatados.

3.1.3.2 Cromo en el agua del río Pongora en la época de estiaje.

Durante la época seca o de estiaje, los análisis realizados en las muestras de agua del río Pongora mostraron que el cromo (Cr) no fue detectado en ninguno de los puntos de muestreo evaluados. Este metal puede encontrarse asociado a diferentes actividades productivas; por ejemplo, las sales de cromo son empleadas durante el curtido del cuero y contribuyen a otorgarle coloración. Entre sus formas, el cromo hexavalente presenta especial importancia debido a su carácter de metal pesado, su capacidad de bioacumulación y sus efectos perjudiciales sobre los organismos vivos.

En relación con su presencia en los cuerpos de agua, los metales pesados constituyen contaminantes de interés debido a sus características tóxicas. El cromo hexavalente, en particular, ha sido señalado por sus efectos teratogénicos y cancerígenos, además de su capacidad para acumularse en los organismos. Su presencia en el ambiente se encuentra vinculada con actividades que comprenden desde la obtención de cromita y el procesamiento de este mineral hasta su utilización en diferentes procesos manufactureros, entre ellos los desarrollados por industrias cementeras, metalúrgicas, curtiembres y textiles. Los vertimientos generados por estas actividades pueden incorporarse a los cuerpos de agua; sin embargo, en el río Alameda, señalado como punto inicial de la cuenca referida, las

concentraciones registradas aún no alcanzarían niveles capaces de afectar la cadena alimenticia.

3.1.3.3 Plomo en el agua del río Pongora en la época de estiaje.

Los valores de plomo (Pb) determinados en las muestras de agua del río Pongora durante la época seca o estiaje no han sido detectados en todos los puntos de muestreo.

El plomo en aguas superficiales, se origina principalmente de la actividad minera, vertidos industriales y residuos provenientes del tráfico vehicular y representa un grave riesgo ambiental y de salud pública debido a su alta toxicidad y bioacumulación. Este metal pesado contamina ecosistemas acuáticos, afectando la reproducción y crecimiento de especies, e ingresa a la cadena alimentaria, dañando gravemente el sistema nervioso, renal y cardiovascular de humanos y fauna.

Si bien el tráfico vehicular es intenso en la cuenca siendo predominante el de vehículos que trasladan materiales de construcción consistentes en piedras, arena, grava y otros extraídas del lecho del río, aún no es determinante en la contaminación con este metal.

3.2 Características físicas y químicas de las muestras de agua en la época de lluvia

3.2.1 Características físicas del agua del río Pongora en la época de lluvia

Tabla 7

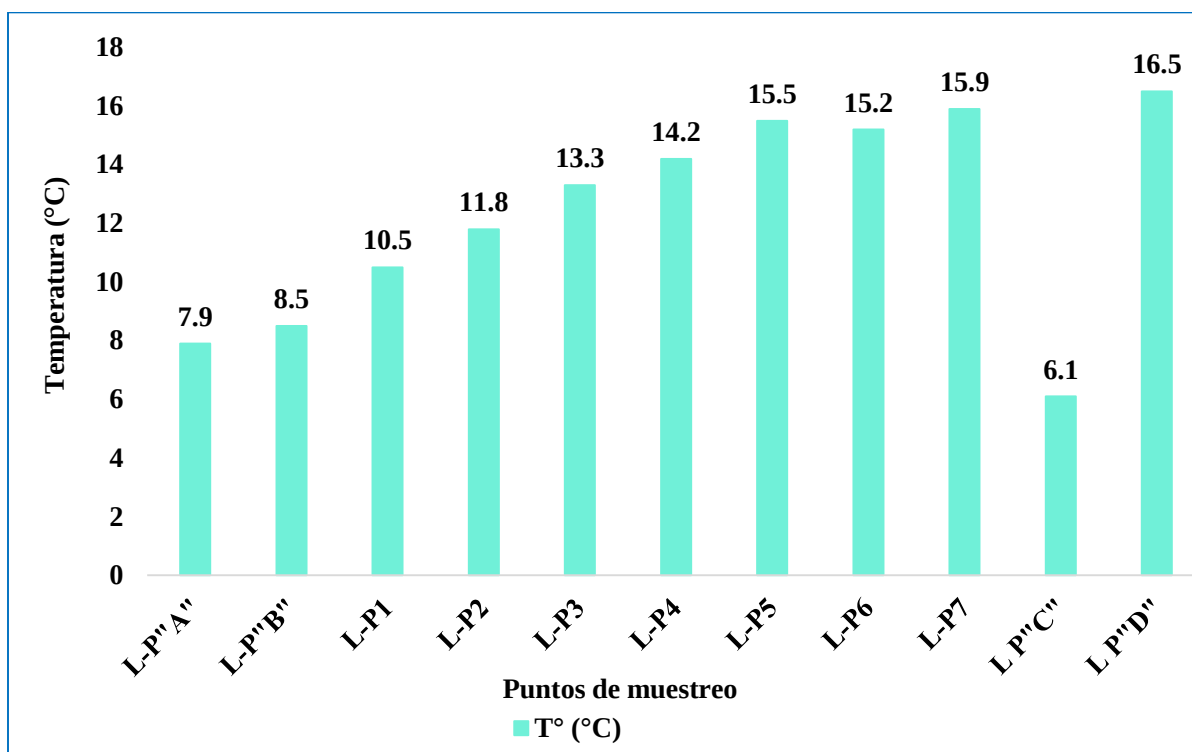
Información de la temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales del río de la microcuenca Pongora de la época de lluvia.

Puntos de muestreo	Descripción	T° (°C)	T (NTU)	SST (ppm)
L-P "A "	Río Muyurina	7.9	18.7	65.2
L-P "B"	Río Huayllapampa	8.5	3.51	65.7
L-P1	Río Pongora	10.5	6.44	287.1
L-P2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	11.8	12.13	287.1
L-P3	Río Pongora - Bosque	13.3	13.63	243.6
L-P4	Río Pongora - Compañía	14.2	15.11	358.4
L-P5	Río Pongora - Morro	15.5	9.84	402.7
L-P6	Río Pongora - Cantera	15.2	13.45	466.8
L-P7	Río Pongora + Río Simpapata	15.9	8.46	399.6
L P "C"	Río Cachi	6.1	9.64	512.4
L P "D"	Río Cachi + Río Pongora	16.5	4.56	545.5

La temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales fueron las variables evaluadas en la época de lluvia la que se muestra en la tabla 7. La temperatura es variable a lo largo del recorrido del río en la microcuenca siendo más fría en el punto de muestreo L – P “C” con 6.1 °C que corresponde al Río Cachi y, el más alto, en el punto L – P “D” con 16.5 °C que corresponde a la unión del Río Cachi y Río Pongora.

Figura 11

Temperatura del agua del río Pongora en la época de lluvia.



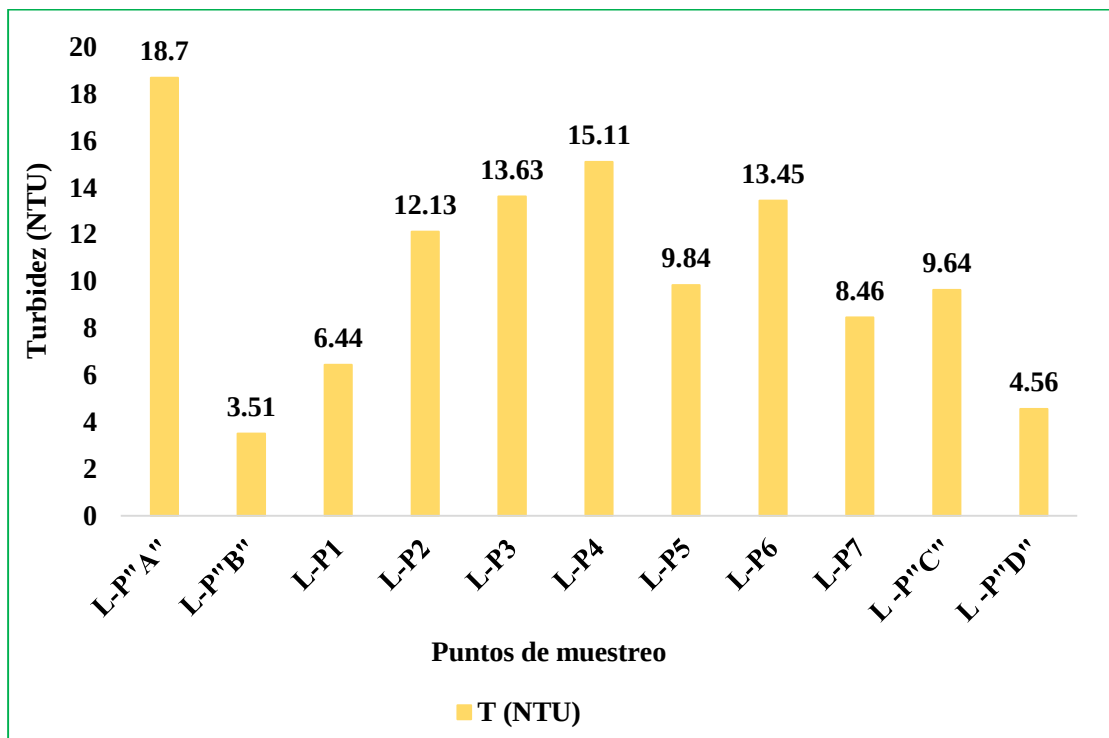
La temperatura del agua de la época de lluvia del río Pongora (figura 11), varía de 6.1 °C y 16.5 °C en los puntos de muestreo L – P “C” denominado río Cachi y; L – P “D” que representa la unión del río Cachi y río Pongora respectivamente, siendo el promedio 12.3 °C. Las temperaturas del agua en esta época de lluvia son inferiores al de época seca o estiaje en la mayoría de los puntos de muestreo. La temperatura constituye una variable que puede modificar diferentes características del agua, debido a que sus cambios influyen en la disolución de sales y gases y, en consecuencia, en sus propiedades químicas y en el comportamiento microbiológico. En los cuerpos de agua superficiales, este parámetro se encuentra relacionado con la radiación que recibe la superficie. Por otro lado, en las aguas profundas de embalses y lagos se presentan ciclos térmicos diferenciados: durante el período de mezcla, la temperatura tiende a ser semejante en profundidad, mientras que en la etapa de estratificación se establece una diferencia térmica entre la superficie, donde se encuentran las aguas más cálidas, y el fondo, donde permanecen las más frías, limitando la

mezcla vertical. Estas condiciones influyen en las características fisicoquímicas de cada masa de agua. En las aguas subterráneas, la temperatura está determinada por factores relacionados con el terreno que atraviesan, la naturaleza de las rocas, la profundidad de surgencia y la posible presencia de fenómenos magmáticos (Palomino, 2018).

En referencia a la turbidez durante la época de lluvia que se muestran en la figura 12, oscila entre el menor valor de 3.51 NTU y el máximo valor de 18.7 NTU, en los puntos de muestreo denominado río Huayllapampa L – P “B” y río Muyurina L – P “A” respectivamente; siendo el promedio 10.49 NTU.

Figura 12

Turbidez del agua del río Pongora en la época de lluvia.



En los cuerpos de agua naturales, la turbidez puede presentar variaciones asociadas al ingreso de escorrentías, principalmente durante períodos de lluvia intensa y en zonas donde existe mayor susceptibilidad a la erosión. Una vez finalizadas las precipitaciones, la

sedimentación de las partículas puede contribuir a la disminución progresiva de este parámetro, aunque este proceso puede prolongarse después del período de lluvias. Una elevada turbidez implica una mayor presencia de partículas suspendidas, las cuales limitan el ingreso de luz solar al agua y pueden reducir la actividad fotosintética de las plantas acuáticas. Como consecuencia, disminuye la producción de oxígeno y, por tanto, los niveles de oxígeno disuelto (OD). Asimismo, estas partículas pueden absorber calor de la radiación solar, incrementando la temperatura del agua, lo que también puede contribuir a una menor disponibilidad de oxígeno, especialmente en las zonas superficiales.

El incremento de partículas suspendidas también puede generar efectos sobre los organismos acuáticos, debido a que pueden afectar las branquias de los peces, dificultar la búsqueda de alimento y cubrir organismos y huevos ubicados en el fondo. Además, estas partículas tienen la capacidad de transportar contaminantes presentes en el agua (MINAM, 2017).

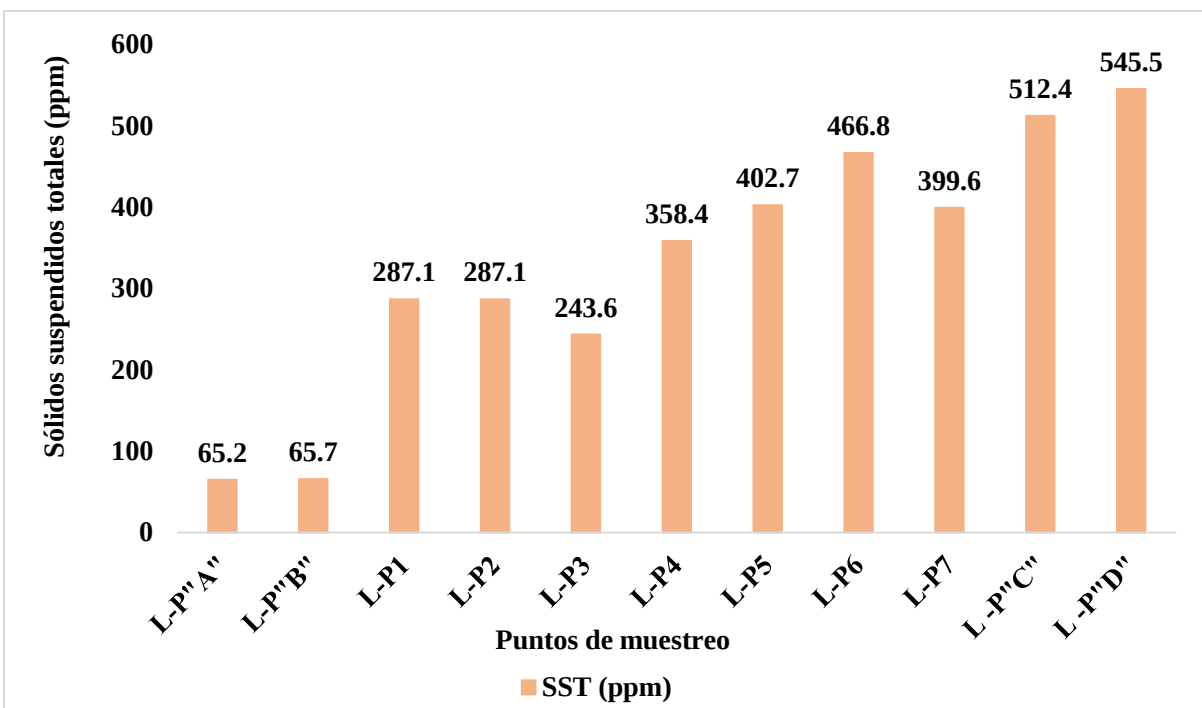
En referencia a los sólidos suspendidos totales durante la época de lluvia que se muestran en la figura 13; los valores de sólidos suspendidos totales - SST registrados en el río Pongora, se encuentran entre 65.2 ppm ó mg/L y 545.5 mg/L, en los puntos de muestreo del río Muyurina (L - P “A”) y; la unión del río Cachi y río Pongora (L – P “D”), siendo el promedio 330.37 mg/L. Este incremento respecto a la época seca refleja la influencia directa de las precipitaciones sobre el arrastre de sedimentos y el aumento de la escorrentía superficial en la cuenca. Durante los periodos lluviosos, las gotas de lluvia generan una mayor energía cinética que favorece la erosión de suelos agrícolas y no agrícolas, transportando partículas hacia el cauce principal.

De acuerdo con Walling & Collins (2008), los rendimientos de sedimentos en una cuenca están estrechamente ligados al uso del suelo, la cobertura vegetal y la intensidad de las lluvias, por lo que las zonas con suelos expuestos o con manejo inadecuado de cultivos tienden a presentar concentraciones más altas de sólidos suspendidos. En este sentido, los valores superiores a 400 mg/L observados en los puntos L-P5, L-P6, L-P7, L P “C” y L P “D” sugieren la existencia de procesos erosivos intensos en los sectores medios y bajos de

la cuenca, posiblemente agravados por la deforestación y el tránsito vehicular en caminos no afirmados o pavimentados.

Figura 13

Sólidos suspendidos totales del agua del río Pongora en la época de lluvia.



La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) advierte que altas concentraciones de sólidos suspendidos reducen la penetración de la luz, afectan la fotosíntesis acuática y pueden obstruir los sistemas de riego, disminuyendo su eficiencia. En el ámbito nacional, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) establece que los valores de SST en aguas superficiales para riego agrícola no deben superar los 200 mg/L, límite que fue ampliamente excedido en la mayoría de los puntos evaluados.

De manera similar, Huamán et al. (2020) reportaron en el río Mantaro concentraciones de hasta 480 mg/L durante la estación lluviosa, relacionándolas con la erosión de laderas agrícolas y el arrastre de partículas finas. En otro estudio, (Ramos & Gutiérrez, 2021) observaron valores de hasta 510 mg/L en el río Cunas, atribuidos a la pérdida de cobertura vegetal y al uso intensivo del suelo. Estos hallazgos coinciden con lo evidenciado en el río

Pongora, donde la topografía accidentada y las prácticas agrícolas sin medidas de conservación de suelos contribuyen al incremento de la carga de sedimentos.

En síntesis, los resultados obtenidos reflejan una alta influencia de la precipitación y del manejo del suelo sobre la concentración de sólidos suspendidos totales durante la época de lluvia. Esto podría comprometer la calidad del agua destinada al riego agrícola, especialmente en cultivos sensibles a la obstrucción de sistemas de riego por goteo. Se recomienda implementar prácticas de conservación de suelos, como la siembra en curvas de nivel, la reforestación de márgenes ribereñas y la estabilización de taludes, para reducir la erosión y mejorar la calidad del agua del río Pongora.

3.2.2 Características químicas de las muestras de agua – Época de lluvia

En la tabla 8, se muestran los resultados de la evaluación de algunos caracteres químicos como el pH, conductividad eléctrica y concentración de metales pesados como el cadmio, cromo y plomo.

Tabla 8

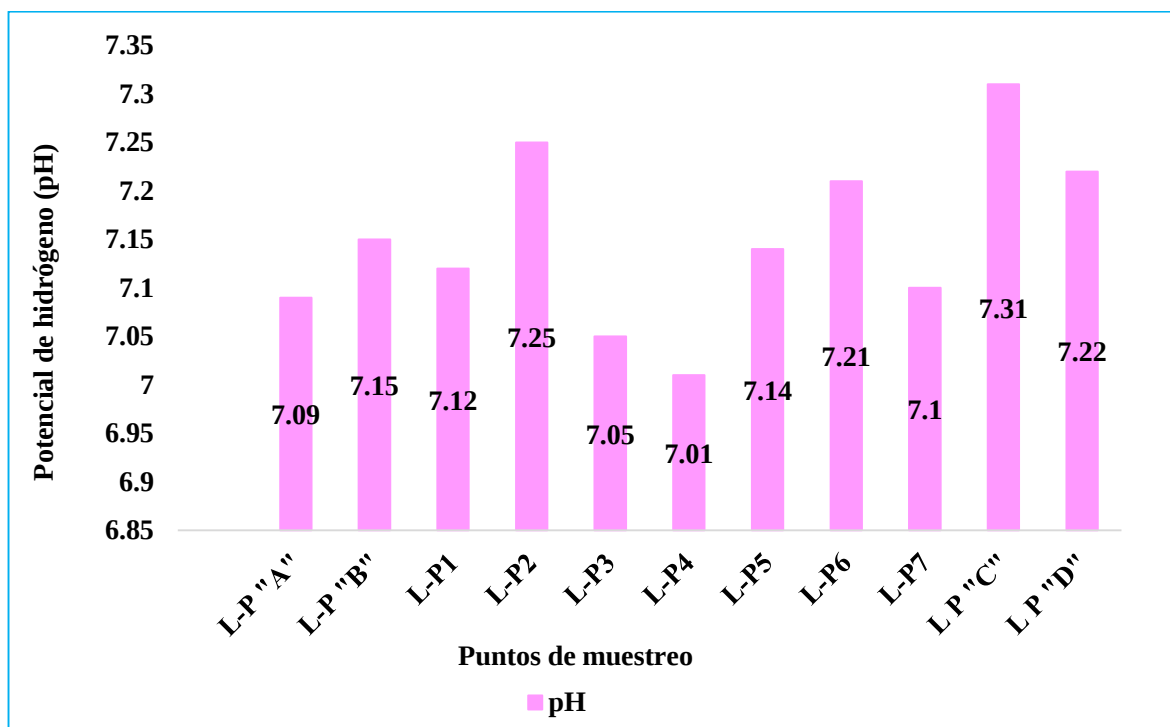
Atributos químicos del agua del río Pongora en la época de lluvia

Puntos de muestreo	Descripción	pH	CE (μS/cm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)
L-P "A"	Río Muyurina	7.09	187	0.02	ND	ND
L-P "B"	Río Huayllapampa	7.15	322	0.02	ND	ND
L-P1	Río Pongora	7.12	345	0.02	0.01	ND
L-P2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	7.25	416	0.02	0.02	ND
L-P3	Río Pongora - Bosque	7.05	426	0.02	0.02	ND
L-P4	Río Pongora - Compañía	7.01	556	0.02	ND	ND
L-P5	Río Pongora - Morro	7.14	465	0.03	ND	ND
L-P6	Río Pongora - Cantera	7.21	603	0.02	ND	ND
L-P7	Río Pongora + Río Simpapata	7.1	560	0.02	ND	ND
L P "C"	Río Cachi	7.31	846	0.02	0.01	ND
L P "D"	Río Cachi + Río Pongora	7.22	758	0.03	ND	ND

El potencial de hidrógeno (pH) del agua obtenidos en las muestras del río Pongora durante la época de lluvia (figura 14); oscila entre el valor mínimo de 7.1 y el valor máximo 7.31, en los puntos de muestreo L – P4, L - P7 y L – P “C”, respectivamente; siendo el promedio 7.15 de pH. Lo que indica que el agua presenta una ligera tendencia neutra a ligeramente alcalina. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo para el riego agrícola, que según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008), debe situarse entre 6.5 y 8.4 para evitar alteraciones en la disponibilidad de nutrientes en los suelos y prevenir efectos negativos en los cultivos.

Figura 14

pH del agua del río Pongora en la época de lluvia



El comportamiento relativamente estable del pH durante la época lluviosa puede atribuirse al efecto de dilución de las lluvias, que tiende a neutralizar la acidez del agua al incrementar el volumen y la renovación del caudal. De acuerdo con (Chapman, 1996), la estabilidad del pH en aguas superficiales depende principalmente de la composición geológica del terreno

y de la capacidad tampón del sistema carbonato-bicarbonato, el cual regula la acidez natural.

En el contexto peruano, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) establece en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua un rango permitido de 6.5 a 8.5 para cuerpos de agua destinados a riego agrícola. Por lo tanto, los valores registrados en el río Pongora cumplen con dicho rango, lo que evidencia una calidad adecuada para su uso agrícola.

Asimismo, estudios similares realizados por (Ramos & Gutiérrez, 2021) en el río Cunas, región Junín, reportaron valores de pH entre 7.0 y 7.4 durante la estación lluviosa, atribuidos a la presencia de materiales carbonatados en el lecho y a la influencia de la cobertura vegetal ribereña. De manera semejante, Huamán et al. (2020) encontraron valores promedio de 7.2 en el río Mantaro durante el mismo periodo, lo que refuerza la tendencia observada en sistemas fluviales andinos de mantener pH neutros en épocas de lluvia.

A nivel internacional, Dey et al. (2022) señalaron que en cuencas agrícolas tropicales los valores de pH suelen permanecer entre 6.8 y 7.5 en periodos de precipitación intensa, debido al equilibrio entre los aportes de la cantidad de materia orgánica presente y de la capacidad neutralizante de los minerales que conforman el suelo. Este comportamiento se asemeja al observado en el río Pongora, donde las lluvias contribuyen a mantener una estabilidad química favorable para el uso del agua en riego.

En síntesis, los valores de pH en época de lluvia del río Pongora reflejan una condición estable y apta para el riego agrícola, sin indicios de acidificación ni alcalinización significativa. No obstante, se recomienda mantener un monitoreo constante, ya que cambios en el uso del suelo, el escurrimiento de fertilizantes o descargas domésticas podrían alterar la calidad del agua a largo plazo.

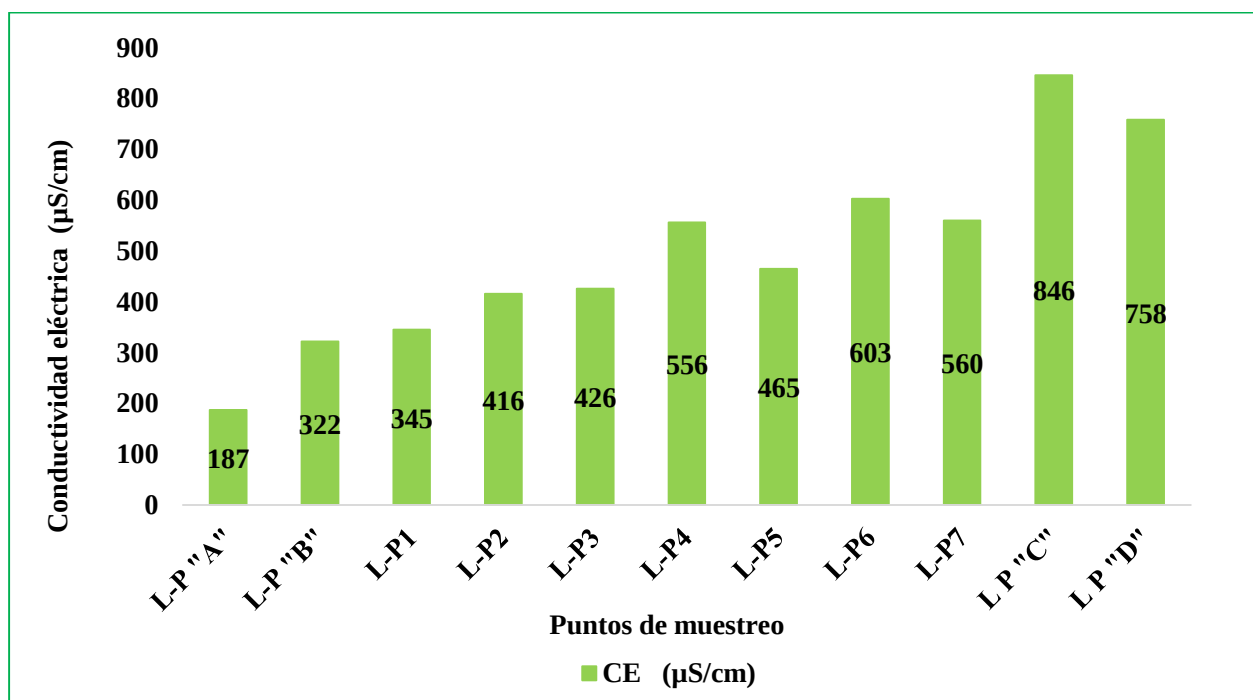
La conductividad eléctrica del agua de la época de lluvia (figura 15); oscila entre el valor mínimo de 187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a un valor máximo de 846 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el recorrido del agua en la

microcuenca del río Pongora, en los puntos de muestreo de L – P “A” y L – P “C” respectivamente, siendo el promedio 498.54 $\mu\text{S/cm}$.

La conductividad eléctrica permite conocer la capacidad que presenta una solución acuosa para conducir corriente eléctrica, propiedad que está determinada principalmente por los iones disueltos en el agua. Su comportamiento depende de las concentraciones y características de estos iones, así como de factores relacionados con su movilidad, valencia, temperatura y viscosidad de la solución. Debido a ello, este parámetro puede utilizarse como referencia para estimar la cantidad total de componentes iónicos presentes. En el caso de los ríos, sus valores pueden experimentar variaciones asociadas con el caudal y la actividad biológica del agua. Asimismo, la presencia de partículas suspendidas de gran tamaño, aceites o grasas puede interferir en la obtención de las mediciones. Entre los iones que contribuyen directamente a la conductividad de las aguas continentales se encuentran el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos (Palomino, 2018).

Figura 15

Conductividad eléctrica del agua del río Pongora en la época de lluvia



Los valores de conductividad eléctrica (CE) registrados en el río Pongora durante la época de lluvia refleja una conductividad moderada a ligeramente elevada en algunos puntos, especialmente en los sectores bajos de la cuenca L P “C” y L P “D”. Estos valores indican la presencia de sales disueltas de origen natural y posiblemente arrastradas por el escurrimiento superficial durante los eventos de precipitación.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008), las aguas con conductividades inferiores a 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son consideradas aptas para riego sin riesgo significativo de salinización, mientras que valores entre 700 y 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pueden generar efectos moderados dependiendo del tipo de cultivo y suelo. Por tanto, los valores registrados en el río Pongora se encuentran mayoritariamente dentro del rango aceptable para riego, aunque los puntos con más de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ evidencian cierta influencia de materiales disueltos arrastrados desde zonas agrícolas y caminos erosionados.

Chapman (1996), señala que los valores de conductividad eléctrica registrados en aguas superficiales pueden estar relacionados con las características geológicas de la zona, el aporte de escorrentía y el contacto del agua con el suelo; durante las lluvias, el aumento del caudal puede tanto diluir como movilizar sales dependiendo de la composición de la cuenca. En este caso, el incremento progresivo de CE aguas abajo podría asociarse con la acumulación de iones transportados desde zonas de uso agrícola y la disolución de minerales del sustrato.

A nivel internacional, en una región semiárida de España Mateo et al., (2024) utilizaron modelos de inteligencia artificial para predecir la CE como indicador de salinidad en aguas de riego, subrayando que niveles más altos de CE implican mayor contenido iónico disuelto y, por tanto, un mayor riesgo de salinización del agua de riego. Esto confirma que la CE es un parámetro clave en la evaluación de la aptitud del agua para riego.

En el ámbito nacional, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) establece que para cuerpos de agua destinados al riego agrícola, los valores de conductividad eléctrica deben

ser menores a 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, rango que se cumple plenamente en todos los puntos del río Pongora, indicando una buena calidad del agua para riego.

Cerna et al. (2022), realizó un análisis de la calidad de las aguas superficiales pertenecientes a la cuenca del Huallaga, encontrando que, si bien no todos los muestreos mostraban valores de CE críticos, hubo sectores en los que la CE y otros parámetros excedían los estándares para categoría de riego, lo que atribuyeron a la combinación de actividades agrícolas, descargas domésticas y geología de la cuenca. Dicho estudio refuerza el hecho de que en Perú las cuencas agrícolas pueden presentar incrementos de CE en épocas de mayor escorrentía.

La calidad de aguas pluviales urbanas, Martínez et al., (2024) documentó que durante las lluvias en Arequipa se registraron variables químicas elevadas en aguas de escorrentía urbana, lo que sugiere que las lluvias pueden activar procesos de arrastre de contaminantes y sales disueltas hacia los cuerpos de agua, incrementando la CE del agua. Esto implica que, en cuencas agrícolas o mixtas, el efecto de la lluvia no sólo diluye, sino que también puede movilizar iones hacia el cauce, elevando la CE.

Huamán et al. (2020) evaluaron valores entre 210 y 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el río Mantaro durante la época lluviosa, atribuyendo los mayores valores a la disolución de sales del suelo y al arrastre de fertilizantes. Asimismo, Ramos y Gutiérrez (2021), en su estudio del río Cunas, hallaron valores de 350 a 790 $\mu\text{S}/\text{cm}$, destacando la influencia de la actividad agrícola y la topografía del terreno sobre la concentración de iones disueltos.

De manera general, los resultados obtenidos muestran que el agua del río Pongora mantiene niveles de salinidad adecuados para riego agrícola, aunque los valores más altos en la parte baja de la cuenca merecen monitoreo, especialmente si se intensifica la actividad agrícola o el uso de agroquímicos. La conservación de la cobertura vegetal y la implementación de prácticas sostenibles de manejo del suelo contribuirían a mantener la estabilidad iónica del sistema fluvial.

3.2.3 Concentración de metales pesados en el agua del río Pongora en la época de lluvia

3.2.3.1 Cadmio en el agua del río Pongora en la época de lluvia.

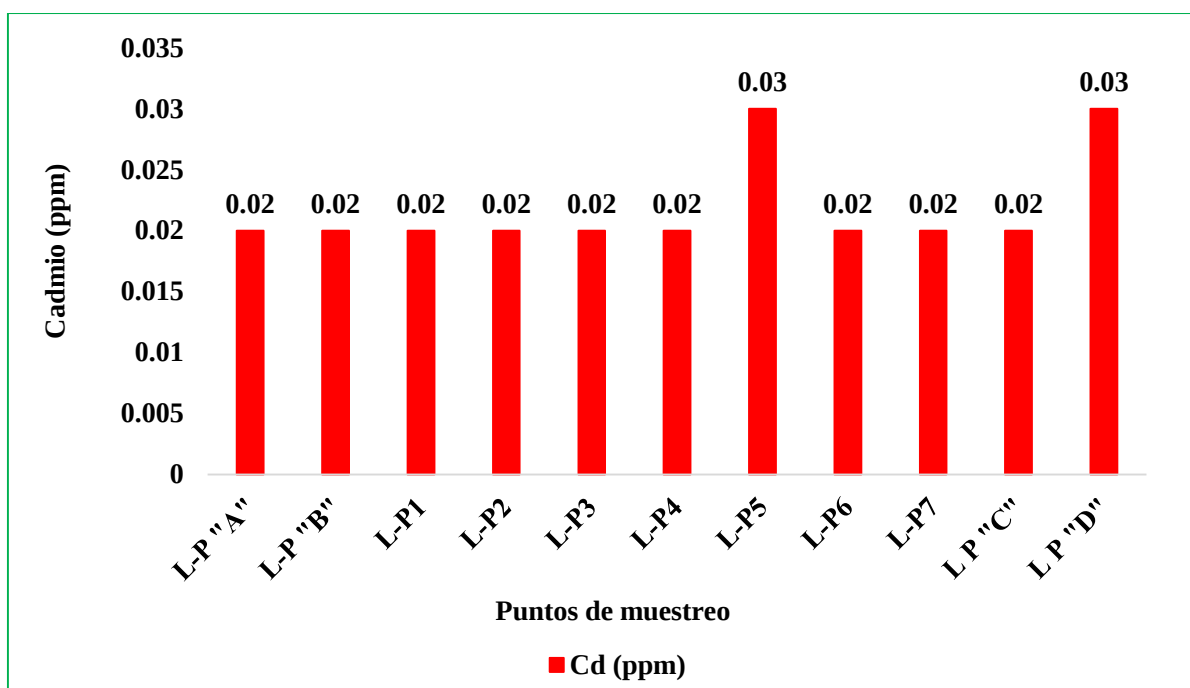
Los resultados correspondientes al cadmio (Cd) durante la época de lluvia se presentan en la (figura 16). Las concentraciones registradas se encontraron entre 0,02 y 0,03 ppm o $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, con un promedio de 0,02 ppm. Los valores de 0,02 ppm fueron obtenidos en los puntos L-P “A”, L-P “B”, L-P1, L-P2, L-P3, L-P4, L-P6, L-P7 y L-P “C”, mientras que en L-P5 y L-P “D” se registraron concentraciones de 0,03 ppm. Al comparar estos resultados con el valor guía de 0,003 mg/L establecido por la Organización Mundial de la Salud para agua destinada al consumo humano, se evidencia que las concentraciones obtenidas son superiores a dicho valor (OMS, 2017).

Esta situación representa un posible riesgo para la salud pública en caso de que el agua fuera utilizada sin un tratamiento previo, considerando que el cadmio es un metal pesado de elevada toxicidad que puede acumularse en los tejidos humanos y producir efectos sobre los riñones y los huesos (WHO, 2022).

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2016), concentraciones de Cd en agua superficial superiores a 0.01 mg/L pueden afectar a los organismos acuáticos, especialmente cuando existe una exposición prolongada y dependiendo de las condiciones de dureza del agua. Por tanto, los valores hallados en el río Pongora (0.02–0.03 mg/L) podrían representar un riesgo ecológico para la biota acuática local.

Figura 16

Concentración de cadmio en el agua del río Pongora en la época de lluvia



Desde la perspectiva agrícola, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024) advierte que niveles de Cd que exceden los 0,01 mg/L en el recurso hídrico de riego pueden incrementar la acumulación del metal en suelos y cultivos, afectando la inocuidad alimentaria. En este sentido, los resultados del río Pongora exceden este límite y podrían, a largo plazo, contribuir a la contaminación de suelos agrícolas y a la transferencia del metal a los productos cultivados, especialmente en suelos con baja capacidad de retención catiónica.

En el ámbito nacional, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Perú para agua superficial, establecido por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), fija un límite máximo permisible de 0.01 mg/ L de Cd para la categoría de riego y bebida de animales, por lo que los valores obtenidos en el río Pongora superan ampliamente este parámetro. Estudios realizados en diversas cuencas andinas peruanas demuestran que las concentraciones de Cd suelen incrementarse durante la época de lluvia debido a la remoción de sedimentos contaminados y al arrastre de material de origen minero y agrícola.

En consecuencia, las concentraciones detectadas en el río Pongora durante la época de lluvia podrían deberse a la escorrentía superficial y al arrastre de sedimentos provenientes de zonas con influencia agrícola. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar un monitoreo permanente de metales pesados, así como estrategias de mitigación y control de fuentes difusas, para proteger los recursos hídricos y garantizar su uso sostenible para riego y otros fines.

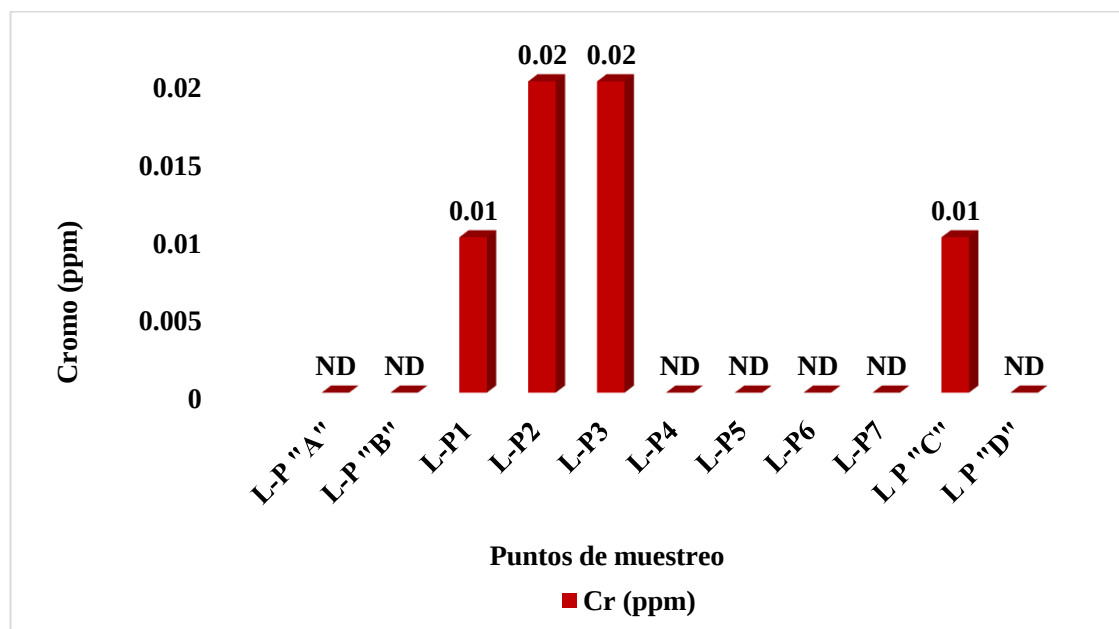
3.2.3.2 Cromo en el agua del río Pongora en la época de lluvia.

Las muestras de agua del río Pongora fueron analizadas para determinar la presencia de cromo (Cr) durante el período de lluvias (figura 17); oscila entre el menor valor de 0.01 y el mayor valor de 0.02 ppm o $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en los puntos de muestreo (L – P1, L – P “C”) y (L – P2, L – P3), respectivamente; siendo el promedio 0.005 ppm de cromo. En los puntos de muestreo (L – P “A”, L – P “B”, L – P4, L – P5, L – P6, L – P7, L – P “D”) no se detectó el cromo, se puede observar en la gráfica que esta denominado con No Detectado (ND).

Respecto a la concentración de cromo (Cr) en el agua del río Pongora durante la época de lluvia, los resultados evidenciaron valores entre no detectables (ND) y 0.02 ppm (mg/L), registrándose las mayores concentraciones en los puntos de muestreo LP-2 y LP-3 (0.02 ppm), mientras que en LP-1 y LP “C” se registraron valores de 0.01 ppm; en los demás puntos no se detectó la presencia de este metal. La variabilidad espacial observada podría estar asociada a procesos de escorrentía superficial y arrastre de sedimentos ocasionados por las precipitaciones, debido a que durante la época de lluvias se incrementa la movilización de partículas minerales presentes en el suelo y en los afloramientos geológicos de la cuenca, favoreciendo el transporte temporal de metales pesados hacia determinados sectores del río.

Figura 17

Concentración de cromo en el agua del río Pongora en la época de lluvia



Al comparar los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3: Riego de Vegetales, se determinó que las concentraciones de cromo registradas en el río Pongora se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 0.1 mg/L, establecido para agua de riego agrícola, evidenciando que este parámetro cumple con la normativa ambiental vigente y no representa una limitación para el uso agrícola del recurso hídrico (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017). En este sentido, la presencia de cromo en bajas concentraciones indica una condición aceptable de calidad de agua respecto a este metal pesado, lo que sugiere un bajo riesgo de toxicidad para los cultivos irrigados.

Los resultados encontrados muestran similitud con lo reportado por Plasencia (2022), quien evaluó la concentración de metales pesados en agua de riego en Carquín Chico, Hualmay, se registró un valor medio de 0,0049 mg/L de cromo, manteniéndose esta concentración dentro de los límites establecidos por el D.S. N.º 004-2017-MINAM, concluyendo que el recurso hídrico mantenía condiciones adecuadas para fines agrícolas. Aunque los valores encontrados en el río Pongora fueron ligeramente superiores (0.01–0.02 mg/L), estos

continúan dentro de los rangos permisibles para riego, lo cual evidencia un comportamiento similar en cuanto al cumplimiento de los estándares ambientales para agua de uso agrícola.

Asimismo, la presencia de cromo únicamente en algunos puntos de muestreo y su ausencia en otros (ND) podría explicarse por las características propias de la dinámica hídrica durante la época de lluvia, ya que el incremento del caudal favorece procesos simultáneos de dilución y transporte de sedimentos, generando variaciones espaciales en la concentración de metales. Según reportes técnicos de evaluación de calidad de agua de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), los metales pesados presentes en cuerpos de agua pueden tener origen tanto natural, relacionado con la meteorización de rocas, como antrópico, asociado a actividades agrícolas, urbanas o extractivas desarrolladas dentro de la cuenca (ANA, 2023).

Desde el punto de vista del Índice de Calidad del Agua (ICA), los bajos niveles de cromo registrados indican que este metal no constituye un parámetro determinante en el deterioro de la calidad del agua del río Pongora para fines de riego agrícola, debido a que las concentraciones registradas permanecieron considerablemente por debajo del valor normativo permitido (MINAM, 2017). Sin embargo, resulta importante realizar monitoreos periódicos, especialmente durante la época de lluvias, a fin de evaluar posibles fluctuaciones temporales relacionadas con cambios hidrológicos, erosión del suelo y aportes externos dentro de la cuenca.

3.2.3.3 Plomo en el agua del río Pongora en la época de lluvia.

En las muestras de agua del río Pongora correspondientes a la época de lluvia, el plomo (Pb) presentó resultados no detectables en los puntos de muestreo evaluados del plomo en todos los puntos de muestreo, se puede observar en la gráfica que esta denominado con No Detectado (ND).

Los resultados obtenidos para plomo (Pb) en el agua del río Pongora durante la época de lluvia mostraron valores ND (No Detectable) en todos los puntos de monitoreo evaluados, indicando que las concentraciones del metal estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico empleado. Estos resultados sugieren la ausencia de contaminación significativa por plomo en el recurso hídrico durante el periodo de evaluación, evidenciando

una calidad de agua favorable para uso agrícola, ya que no representa riesgo de toxicidad para cultivos ni supera los valores máximos permitidos para agua de riego establecidos en la normativa ambiental peruana.

La ausencia de plomo detectable en época de lluvia podría estar asociada al efecto de dilución generado por el incremento del caudal del río debido a las precipitaciones, fenómeno que contribuye a disminuir la concentración de metales pesados disueltos en el agua. En periodos lluviosos, el aumento del volumen hídrico puede reducir la concentración de contaminantes presentes, especialmente cuando no existen fuentes directas importantes de contaminación minera, industrial o urbana cercanas al cuerpo de agua. Asimismo, la no detección de plomo sugiere una limitada influencia antrópica en la cuenca evaluada, favoreciendo la conservación de la calidad ambiental del río.

Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado por investigaciones realizadas en cuerpos de agua destinados al riego agrícola en Perú. En la investigación de Julca (2022), realizada en el canal de riego las siete compuertas, los análisis de metales pesados mostraron que las concentraciones de plomo se encontraban por debajo del límite de detección analítica. A partir de estos resultados, el autor determinó que el agua presentaba condiciones adecuadas para su utilización en el riego agrícola y señaló que la no detección de este metal podría estar asociada con la baja presión contaminante existente en la zona estudiada. De manera similar, estudios en sistemas hídricos rurales han demostrado que durante épocas de lluvia algunos metales presentan menores concentraciones debido al efecto de dilución generado por el aumento del caudal.

Sin embargo, estos resultados difieren de otros estudios realizados en cuencas con mayor intervención antrópica. Avalos (2023), en un estudio realizado en Ancash, reportó presencia de plomo en agua superficial, asociándola a actividades mineras y procesos de contaminación ambiental, lo que evidencia que la presencia de este metal pesado puede variar significativamente según las características geológicas y el nivel de intervención humana de cada cuenca. En ese sentido, la condición ND obtenida en el río Pongora constituye un indicador positivo de la calidad del agua durante la época de lluvia, aunque se recomienda continuar con monitoreos periódicos para evaluar posibles variaciones

temporales en diferentes estaciones del año, especialmente en época de estiaje, cuando la reducción del caudal puede favorecer la concentración de contaminantes.

3.3 Índice de Calidad del Agua de riego del río Pongora

3.3.1 *Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de estiaje*

El Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) calculado para el río Pongora durante la época de estiaje (Tabla 9), alcanzó un valor de 83,86, clasificándose dentro de la categoría de “Buena calidad”, de acuerdo con los criterios establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018). Este resultado indica que las condiciones físicas y químicas del recurso hídrico son favorables para su aprovechamiento en actividades agrícolas, aunque existen algunos parámetros que requieren vigilancia debido a su potencial impacto ambiental.

El valor obtenido refleja que la mayor parte de los parámetros evaluados cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), contribuyendo positivamente al cálculo del índice. Entre ellos destacan el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y la concentración de plomo, cuyos valores permanecieron dentro de los límites permisibles. El pH presentó un promedio de 7,25 y fluctuó entre 7,09 y 7,48, evidenciando condiciones neutras a ligeramente alcalinas que favorecen tanto la estabilidad de los ecosistemas acuáticos como el uso agrícola del agua. Asimismo, la conductividad eléctrica registró un promedio de 562,09 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor considerablemente inferior al límite establecido para aguas de riego, indicando una baja concentración de sales disueltas y un reducido riesgo de salinización de los suelos agrícolas.

Sin embargo, el ICA-PE no alcanzó valores correspondientes a las categorías de “Excelente” o “Muy Buena” calidad debida principalmente a la presencia de concentraciones detectables de cadmio en varios puntos de monitoreo. Los valores registrados oscilaron entre 0,01 y 0,03 mg/L, observándose excedencias respecto al ECA para agua de riego en determinados sectores de la microcuenca. Este comportamiento incrementó los factores F1 (alcance), F2 (frecuencia) y F3 (amplitud) considerados en la metodología del ICA-PE, reduciendo consecuentemente la calificación final del índice.

Tabla 9

Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de estiaje.

Puntos de monitoreo				Época seca o estiaje										
Parámetros evaluados		Unid	ECA Cat 3 (LMP)	Río Muyurina	Río Huayllapampa	Río Pongora	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	Río Pongora - Bosque	Río Pongora - Compañía	Río Pongora - Morro	Río Pongora - Cantera	Río Pongora + Río Simpapata	Río Cachi	Río Cachi + Río Pongora
Variables Físicas	Temperatura	(°C)	30	12.9	10.5	13.3	13.4	15.3	16.1	17.9	19.2	21.6	20.7	20.5
	Turbidez	(NTU)	6	15.9	1.08	3.37	3.16	2.43	3.82	1.02	10.5	1.94	1.87	1.24
	Sólidos Suspendidos Total	(ppm)	2000	52.4	35.6	74.6	68.2	56.7	66.5	71.3	57.3	68.9	81.3	57.1
Variables Químicas	pH	Unidad de pH	6.5 - 8.5	7.14	7.16	7.15	7.36	7.12	7.09	7.28	7.45	7.22	7.48	7.35
	C.E.	(µS/cm)	2500	253	165	349	551	497	602	635	677	598	992	864
	Cadmio	(ppm ó mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
	Cromo	(ppm ó mg/L)	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Plomo	(ppm ó mg/L)	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			2										
	Número Total de parámetros a Evaluar			8										
	Número de datos que NO cumplen el ECA			7										
	Número Total de Datos			88										
Cálculo de los factores del ICA - PE (F1, F2, F3)	F1			25										
	F2			7.95										
	Cálculo de los excedentes													
	Turbidez (NTU)			1.65							0.75			
	Cadmio (ppm ó mg/L)					2	2	1	1				1	
	Suma de excedentes/ N° Total de datos			0.1068										
	F3			9.65										
				83.86										
	ICA - PE			Bueno										

La presencia de cadmio podría estar asociada a actividades agrícolas desarrolladas en la microcuenca, particularmente por el uso continuo de fertilizantes fosfatados que contienen trazas de este metal pesado. Diversos estudios han señalado que el cadmio puede incorporarse a los cuerpos de agua mediante procesos de escorrentía superficial, erosión de suelos agrícolas y lixiviación de materiales geológicos naturalmente enriquecidos con este elemento. Villena (2018) sostiene que la contaminación por metales pesados constituye una de las principales amenazas para la calidad de los recursos hídricos en el Perú, especialmente en cuencas donde convergen actividades agrícolas y extractivas.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales, aunque los valores registrados durante el estiaje fueron significativamente menores que los observados en la época de lluvias, estos oscilaron entre 35,6 y 81,3 mg/L, evidenciando la existencia de aportes de sedimentos incluso durante el periodo seco. Este comportamiento puede atribuirse al tránsito vehicular asociado a la extracción de agregados del cauce, al movimiento de tierras en áreas agrícolas y a procesos erosivos localizados. No obstante, las concentraciones registradas se mantuvieron muy por debajo de los límites normativos, por lo que su incidencia sobre el ICA-PE fue moderada.

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones realizadas en otras cuencas andinas. Alca (2020), en la evaluación del ICA del agua de riego en el distrito de Colca (Ayacucho), reportó que los parámetros físicos generalmente cumplen los estándares ambientales, mientras que las principales restricciones para mejorar la calidad del agua están asociadas a la presencia de determinados metales pesados. Del mismo modo, estudios realizados por la ANA (2023) indican que en numerosas cuencas agrícolas del país los valores del ICA disminuyen principalmente debido a contaminantes específicos más que por alteraciones generalizadas de los parámetros fisicoquímicos básicos.

Comparativamente, el valor de ICA-PE obtenido en el río Pongora durante el estiaje es superior al reportado por Buitrón (2024) en el río Muyurina, donde se registraron índices entre 48,64 y 65,47, correspondientes a categorías de calidad regular y mala. Asimismo, supera los valores reportados por Barrera y Cepeda (2020) en el río Cutuchi, donde el índice alcanzó 58,17. Estas diferencias sugieren que el río Pongora conserva aún una condición

ambiental relativamente favorable, pese a las presiones derivadas de las actividades agrícolas y del crecimiento poblacional en la microcuenca.

En términos generales, el ICA-PE de 83,86 evidencia que durante la época de estiaje el río Pongora mantiene una calidad adecuada para fines de riego agrícola. Sin embargo, la detección recurrente de cadmio constituye una señal de alerta ambiental que justifica la implementación de programas permanentes de monitoreo, así como estudios complementarios orientados a identificar las fuentes específicas de contaminación y prevenir procesos de acumulación de metales pesados en los suelos y cultivos de la zona. Esta situación resulta particularmente relevante considerando que la microcuenca abastece de agua a importantes áreas productoras de hortalizas destinadas al consumo de la población de Ayacucho.

3.3.2 *Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de lluvia*

El Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) calculado para el río Pongora durante la época de lluvias (Tabla 10), alcanzó un valor de 77,35, clasificándose igualmente dentro de la categoría de “Buena calidad”, según la metodología establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018). Este resultado indica que, pese a las alteraciones hidrológicas propias de la temporada de precipitaciones, el agua mantiene condiciones aceptables para su utilización en riego agrícola. Sin embargo, el valor obtenido es inferior al registrado durante la época de estiaje (83,86), evidenciando que la calidad del agua experimenta un cierto deterioro temporal debido a la influencia de factores naturales y antrópicos asociados al periodo lluvioso.

Tabla 10

Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de lluvia.

Puntos de monitoreo				Época de lluvia										
Parámetros evaluados		Unidad	ECA Cat 3 (LMP)	Río Muyurina	Río Huayllapampa	Río Pongora	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	Río Pongora - Bosque	Río Pongora - Compañía	Río Pongora - Morro	Río Pongora - Cantera	Río Pongora + Río Simpapata	Río Cachi	Río Cachi + Río Pongora
Variables Físicas	Temperatura	(°C)	30	7.9	8.5	10.5	11.8	13.3	14.2	15.5	15.2	15.9	6.1	16.5
	Turbidez	(NTU)	6	18.7	3.51	6.44	12.13	13.63	15.11	9.84	13.45	8.46	9.64	4.56
	Solidos Suspendidos Totales	(ppm)	2000	65.2	65.7	287.1	287.1	243.6	358.4	402.7	466.8	399.6	512.4	545.5
Variables Químicas	pH	Unidad de pH	6.5 - 8.5	7.09	7.15	7.12	7.25	7.05	7.01	7.14	7.21	7.1	7.31	7.22
	C.E.	(µS/cm)	2500	187	322	345	416	426	556	465	603	560	846	758
	Cadmio	(ppm ó mg/L)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
	Cromo	(ppm ó mg/L)	0.1	ND	ND	0.01	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	0.01	ND
	Plomo	(ppm ó mg/L)	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			2										
	Número Total de parámetros a Evaluar			8										
	Número de datos que NO cumplen el ECA			20										
	Número Total de Datos			88										
Cáculo de los factores del ICA - PE (F1, F2, F3)	F1			25										
	F2			22.73										
	Cálculo de los excedentes													
	Tubidez (NTU)			2.1167		0.0733	1.0217	1.2717	1.5183	0.6400	1.2417	0.4100	0.6067	
	Cadmio (ppm ó mg/L)			1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
	Suma de excedentes/ N° Total de datos			0.2489										
	F3			19.93										
	ICA - PE			77.35										
				Bueno										

La disminución del ICA durante la temporada de lluvias puede atribuirse principalmente al incremento de la escorrentía superficial, la erosión de los suelos agrícolas y el arrastre de sedimentos, nutrientes y contaminantes hacia el cauce principal. En cuencas agrícolas de montaña, como la microcuenca Pongora, las precipitaciones intensas favorecen el transporte de materiales particulados y sustancias disueltas desde las laderas hacia los cuerpos de agua, alterando diversos parámetros considerados en el cálculo del índice. Este comportamiento ha sido descrito por la ANA (2023), que señala que las variaciones estacionales constituyen uno de los principales factores que modifican la calidad de las aguas superficiales en el territorio peruano.

Uno de los parámetros que mostró una mayor influencia sobre la disminución del ICA fue la turbidez. Durante la época de lluvias se registraron valores entre 3,51 y 18,7 NTU, observándose que varios puntos de monitoreo superaron el valor de referencia considerado en la metodología del ICA-PE. El mayor valor se registró en el río Muyurina (18,7 NTU), mientras que otros sectores del río Pongora presentaron concentraciones superiores a 12 NTU. Este incremento está directamente relacionado con la incorporación de partículas finas provenientes de la erosión hídrica y del arrastre de materiales superficiales generados por las precipitaciones.

De manera similar, los sólidos suspendidos totales (SST) constituyeron uno de los factores más relevantes en la reducción del índice de calidad. Durante la época lluviosa se registraron concentraciones entre 65,2 y 545,5 mg/L, alcanzándose los valores más elevados en la unión del río Cachi y Pongora. Estos resultados reflejan la intensa movilización de sedimentos característica de las cuencas andinas durante los eventos de precipitación. Aunque los valores no superaron el límite máximo establecido para aguas de riego, evidencian una importante carga sedimentaria que puede afectar la eficiencia de los sistemas de riego y alterar las condiciones ecológicas del ecosistema acuático.

Estos resultados guardan concordancia con lo encontrado por Huamán et al. (2020) en el río Mantaro, donde las concentraciones de SST alcanzaron hasta 480 mg/L durante la temporada de lluvias, y con Ramos y Gutiérrez (2021), quienes registraron valores cercanos a 510 mg/L en el río Cunas asociados a procesos de erosión acelerada y pérdida de cobertura

vegetal. Estas similitudes sugieren que el comportamiento observado en el río Pongora responde a procesos hidrológicos comunes en las cuencas altoandinas sometidas a uso agrícola intensivo.

Respecto a las características químicas vinculadas con la salinidad y la acidez del agua mantuvieron condiciones favorables durante toda la campaña de monitoreo. El pH fluctuó entre 7,01 y 7,31, con un promedio de 7,15, indicando aguas neutras a ligeramente alcalinas, condición considerada óptima para la mayoría de cultivos agrícolas. Asimismo, la conductividad eléctrica presentó valores entre 187 y 846 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muy por debajo del límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido para aguas de riego. Estos resultados evidencian que el incremento del caudal durante las lluvias genera un efecto de dilución que evita la acumulación de sales disueltas en el sistema fluvial.

Durante la época de lluvia, los metales pesados continuaron representando una influencia desfavorable en el cálculo del ICA-PE, comportamiento similar al observado durante el período de estiaje. En el caso del cadmio, las concentraciones registradas en los diferentes puntos de monitoreo oscilaron entre 0,02 y 0,03 mg/L, valores que se encontraron por encima del Estándar de Calidad Ambiental para agua destinada al riego agrícola. Además, se detectó cromo en algunos puntos específicos con concentraciones de hasta 0,02 mg/L. Aunque estas concentraciones son relativamente bajas, su importancia radica en el potencial de bioacumulación y toxicidad de estos elementos, especialmente cuando la exposición ocurre de manera continua a través del agua de riego.

La persistencia de cadmio durante ambas estaciones sugiere la existencia de fuentes permanentes de contaminación dentro de la microcuenca. Entre las posibles causas destacan la utilización de fertilizantes fosfatados, el aporte de aguas residuales domésticas, la erosión de materiales geológicos naturalmente enriquecidos y el arrastre de residuos agrícolas por efecto de las lluvias. La mayor frecuencia de incumplimientos observada durante esta estación incrementó los factores F1 y F2 de la metodología del ICA-PE, repercutiendo directamente en la disminución de la calificación final.

Un aspecto favorable identificado durante la campaña de lluvias fue la ausencia de plomo en todas las muestras analizadas. Este resultado indica que las actividades desarrolladas en

la microcuenca aún no generan aportes significativos de este metal pesado, reduciendo los riesgos de contaminación de los cultivos y de transferencia hacia la cadena alimentaria. La ausencia de plomo también contribuyó positivamente al valor final del índice.

Al comparar estos resultados con investigaciones similares desarrolladas en otras cuencas andinas, se observa que el ICA-PE de 77,35 mantiene una condición relativamente favorable. Buitrón (2024) reportó valores entre 48,64 y 65,47 para el río Muyurina, mientras que Barrera y Cepeda (2020) obtuvieron un ICA de 58,17 para el río Cutuchi, ambos inferiores a los encontrados en el río Pongora. Esta diferencia podría estar asociada a una menor presión antrópica o a una mejor capacidad de autodepuración del sistema fluvial estudiado. Asimismo, coincide con los resultados de Custodio y Chanamé (2016), quienes clasificaron las aguas del río Cunas dentro de la categoría de buena calidad, pese a registrar incrementos estacionales de turbidez y sólidos suspendidos.

En síntesis, el ICA-PE de **77,35** obtenido durante la época de lluvias demuestra que el agua del río Pongora conserva una calidad buena para uso agrícola, aunque presenta una disminución respecto a la época de estiaje debido al aumento de la turbidez, los sólidos suspendidos y la persistencia de concentraciones elevadas de cadmio y, en menor medida, de cromo. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar medidas de conservación de suelos en la microcuenca, fortalecer el monitoreo de metales pesados y promover prácticas agrícolas sostenibles que permitan reducir la incorporación de contaminantes al sistema hídrico y mantener la calidad del recurso en el largo plazo.

3.4 Propuestas para reducir los niveles de cadmio y turbidez en el agua de riego del río Pongora

3.4.1 Para reducir el cadmio (Cd)

- ✓ Realizar evaluaciones periódicas de la calidad del agua para conocer cómo varían los niveles de cadmio durante las diferentes épocas del año.
- ✓ Promover entre los agricultores el uso responsable de fertilizantes fosfatadas y productos agrícolas, evitando aplicaciones excesivas que puedan contribuir a la presencia de este metal en el suelo y posteriormente en el agua.

- ✓ Evitar que residuos sólidos, aguas residuales y otros desechos sean depositados cerca del río, ya que podrían convertirse en fuentes adicionales de contaminación.
- ✓ Mantener la vegetación de las riberas y recuperar aquellas zonas que se encuentren deterioradas, con el fin de favorecer la protección natural del cauce.
- ✓ Revisar las actividades que se desarrollan aguas arriba de los puntos de muestreo para identificar posibles fuentes relacionadas con la presencia de cadmio.

3.4.2 Para reducir la turbidez

- ✓ Conservar la vegetación existente en las riberas y establecer barreras vegetales en los sectores donde exista mayor riesgo de arrastre de suelo.
- ✓ Incentivar prácticas agrícolas que ayuden a conservar el suelo, como mantener cobertura vegetal y utilizar terrazas o zanjas de infiltración según las características del terreno.
- ✓ Evitar la remoción innecesaria del suelo, principalmente en áreas cercanas al río, para disminuir el transporte de partículas hacia el agua.
- ✓ Realizar una limpieza y mantenimiento periódico de los canales de riego, especialmente después de periodos de lluvia en los que suele acumularse mayor cantidad de sedimentos.
- ✓ Evitar el ingreso directo de tierra, residuos y aguas con elevada cantidad de sólidos al río, promoviendo un mayor cuidado del recurso entre los agricultores y pobladores de la zona.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Las variables físicas del agua de riego del río Pongora presentaron variaciones estacionales, registrándose temperaturas entre 10,5 y 21,6 °C en estiaje y entre 6,1 y 16,5 °C en lluvias; la turbidez osciló entre 1,02 y 15,9 NTU en estiaje y entre 3,51 y 18,7 NTU en lluvias, mientras que los sólidos suspendidos totales alcanzaron valores máximos de 81,3 mg L⁻¹ y 545,5 mg L⁻¹, respectivamente.
2. Las variables químicas evaluadas mostraron valores de pH entre 7,01 y 7,31 y conductividad eléctrica entre 187 y 846 µS cm⁻¹, dentro de los límites permisibles para riego agrícola. Sin embargo, se detectaron concentraciones máximas de cadmio de 0,03 mg L⁻¹ y de cromo de 0,02 mg L⁻¹, superando los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en algunos puntos de monitoreo.
3. La integración de las variables físicas y químicas mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) permitió clasificar el agua del río Pongora como de calidad “Buena”, obteniéndose valores de 77,35 durante la época de lluvia y 83,86 durante la época de estiaje, evidenciando condiciones favorables para su uso en riego agrícola.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de monitoreo periódico de la calidad del agua del río Pongora, con énfasis en las épocas de estiaje y lluvias, para evaluar la evolución de los parámetros físicos y detectar oportunamente cambios en la calidad del recurso hídrico.
2. Realizar estudios complementarios para identificar las posibles fuentes de contaminación por cadmio y cromo en la microcuenca, considerando actividades agrícolas, mineras y asentamientos poblacionales, con la finalidad de establecer medidas de prevención y control.

3. Evaluar el contenido de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos irrigados con agua del río Pongora, a fin de determinar posibles procesos de acumulación y los riesgos asociados para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Adu, S. M. (2025). Assessment of wastewater quality for irrigation use in the Central Region of Ghana. Discover Environment. Advance online publication. doi:<https://doi.org/10.1007/s44274-025-00271-1>
- Alca, R. (2020). *Evaluacion de parametros fisico – quimico en el indice de calidad de agua de riego del distrito de Colca – Ayacucho, 2020.* . Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga., Ayacucho.
- American Public Health Association - APHA. (2023). *American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (24th ed.). APHA.Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales.*
- ANA. (2016). Autoridad Nacional del Agua. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Lima, Perú.
- ANA. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA- PE aplicado en los cuerpos de agua continentales superficiales.*Ministerio de Agricultura y Riego. Autoridad Nacional del Agua.
- ANA. (2020). Autoridad Nacional del Agua. Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). Resolución Jefatural N.º 084-2020-ANA. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/indice-calidad-ambiental-r>.
- ANA. (2023). *Evaluación de la calidad del agua superficial en el Perú: criterios y parámetros ambientales.* Lima, Perú. Repositorio - ANA.
- Aquino, P. (2017). *Calidad del agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Derecho Ambiente y recursos Naturales (DAR).* Disponible en:.. doi:<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31191>
- Arones Medina, E. G., Veliz Flores, R. R., & Palomino Malpartida, Y. G. (2018). Evaluación de la calidad del agua del río huatatas, aplicando el ica, región ayacucho”; en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Unidad de Investigación e Innovación de

- Ingeniería Química y Metalurgia. Programa de Investigaciones... *revistas.unsch.edu.pe*, 117. doi: <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.1.67>
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA- PE aplicado en los cuerpos de agua continentales superficiales*.
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. . (Mayo de 2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA - PE aplicado a los cuerpos del agua continentales y superficiales*. . Obtenido de Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2018-06639.
- Avalos, Y. J. (2023). *Evaluación de la presencia de plomo en agua, suelo y su correlación con los niveles de plomo en sangre de los habitantes del centro poblado de Huacho – Ancash, Perú – 2021*. Universidad Nacional del Santa.
- Barrera, A., & Cepeda, J. (2020). *Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Cutuchi en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, período 2019-2020*. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6796>.
- Buitron, S. (2024). *Índice de calidad del agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina y propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga - Ayacucho 2018 - 2019 Tesis para obtener el grado académico de: Maestra en Ingeniería Ambiental*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - Escuela de Posgrado - Unidad de Posgrado de la facultad de Ingeniería Química y Metalurgia , Ayacucho. doi:<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7122ec67-e9d8-4680-be8a-74bb6e1d0bf7/content>
- Cerna Cueva, A. F., Aguirre Escalante, C., Wong Figueroa, B. L., Leynig Tello Cornejo, J., & Pinchi Ramírez, W. (2022). Water quality for irrigation in the Huallaga Basin, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 239-248.
- Changoluisa, B., & Quishpe, A. (2020). *Determinación de la calidad del agua por medio de bioindicadores en el río Pumacunchi provincia de Cotopaxi, período 2019-2020*. Universidad Técnica de Cotopaxi - Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6782>.

- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). London: UNESCO/WHO/UNEP.
- Custodio, M., & Chanamé, F. (2016). *Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú*. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172016000100004&script=sci_arttext.
- Dey, M., Singh, R., & Kumar, A. (2022). *Assessment of water quality parameters in tropical agricultural catchments during monsoon season. Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), 512–523. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10021-8>.
- Díaz, S., & Macías, R. (2010). Estrategias generales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Portoviejo. Centro Nacional de Investigaciones Científicas Ciudad de La Habana, Cuba. Universidad de Pinar del Río. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, vol. 41, 2010, pp. 1-7, 8-9. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220509053.pdf>
- EPA. (2016). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Aquatic life ambient water quality criteria for cadmium*. EPA 820-R-16-002. <https://www.epa.gov/wqc>.
- FAO . (1998). Food and Agriculture Organization. *Water quality for agriculture (Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev.1)*. FAO.
- FAO. (1994). *Water quality for agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1)*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- FAO. (2008). Food and Agriculture Organization (FAO). *Water quality for agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1)*. Rome: FAO.
- FAO. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at Breaking Point (SOLAW 2021)*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>.
- FAO. (2024). *Code of practice for the prevention and reduction of cadmium contamination in foods*. Codex Alimentarius. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>.

- Fisher, P., Haskell, D., Meador, D., Mohammad-Pour, G., Fischer, R., & Argo, W. (Noviembre de 2011). What's in your water? *Greenhouse Management*. 20.
- Forero, A., Reinoso, G., & Gutierrez, C. (2013). *Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos*. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v35n2/v35n2a12.pdf>.
- Gamarra, O., Barrena, M., Barboza, E., Rascón, J., Corrot, F., & Taramona, I. (2018). *Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n1/a11v25n1.pdf>
- García, M. (2009). *Biología y Geología: La hidrósfera; El ciclo del agua; La contaminación del agua; Métodos de análisis y depuración; El problema del escasez de agua*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_del_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua
- Gutiérrez, L. (2019). *Evaluación de la calidad del agua del río Cachi para uso agrícola en la provincia de Huamanga - Ayacucho [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]*.
- Hinostroza, I. V., & Jiménez, A. J. (2024). Eficiencia de remoción de la turbidez y sólidos suspendidos totales mediante *Eichhornia crassipes* en las aguas del río Totorilla, Ayacucho – Perú. Universidad Privada del Norte.
- Huamán, R., Flores, J., & Pérez, D. (2020). Evaluación de la calidad del agua del río Mantaro en época de lluvias y estiaje. *Revista Peruana de Recursos Naturales*, 3(2), 45–58.
- Juárez, H. (2012). *Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima Metropolitana*. Obtenido de Programa Internacional de Becas de Investigación en Agricultura Urbana – AGROPOLIS del programa Urban Poverty & Environment Program (UPE) del Centro Internacional de Investigaciones.
- Julca, D. L. (2022). *Evaluación de la concentración de metales pesados en el canal de riego Las Siete Compuertas de la provincia de Huaral, 2021*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

- Larance, S., Wang, J., Delavar, M. A., & Fahs, M. (2025). Evaluación de la temperatura del agua y el oxígeno disuelto y sus posibles efectos en el ecosistema acuático mediante un modelo SARIMA. *Environments*, 12(1), 25. doi:<https://doi.org/10.3390/environments12010025>
- Martínez, G., García Chevesich, P. A., Guillen, M., Tejada Purizaca, T. R., Martinez, K., Ticona, S., . . . McCray, J. E. (2024). Martínez, G., García-Chevesich, P. A., GuillUrban stormwater quality in Arequipa, Southern Peru: An initial assessment. *Water*, 16(1).
- Mateo, L. F., Más López, M. I., García del Toro, E. M., García Salgado, S., & Ángeles Quijano, M. (2024). Artificial neural networks to predict electrical conductivity as an indicator of irrigation water salinity. *Agronomy*, 14(3), 524. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030524>.
- MINAM. (2017). *Ministerio del Ambiente (MINAM). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima, Perú.*
- MINAM. (2019). *Ministerio del Ambiente (MINAM). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima, Perú.*
- OMS. (2017). *Organización Mundial de la Salud - OMS. Contaminación del agua. Directrices para la calidad del agua potable: Cuarta edición con la primera adenda. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.* <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550472>.
- OMS. (2017). *Organización Mundial de la Salud (OMS). Directrices para la calidad del agua destinada a riego. Ginebra: OMS.*
- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2019). *El agua.*
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria-Villa, R. A., & Gallo, J. A. (2020). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, no. 27, enero-junio de 2020. doi:DOI: <https://doi.org/>
- Palomino, R. (2018). *Evaluación espacio-temporal de metales pesados en la calidad del agua de los ríos Alameda y Muyurina. Ayacucho – 2018. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. . Ayacucho.*

- Plasencia, C. Y. (2022). *Evaluación de la concentración de metales pesados en el agua de riego de Carquín Chico, distrito de Hualmay, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]*.
- Quispe, R. (2021). *Determinación de la calidad del agua del río Mantaro para riego agrícola en la región Junín [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]*.
- Ramos, C., & Gutiérrez, L. (2021). Caracterización fisicoquímica del agua del río Cunas durante eventos de precipitación intensa. *Revista Científica de Ingeniería Ambiental*, 5(1), 25–36.
- Sierra, M., & Martín, F. J. (2018). Dinámica de metales pesados y su importancia en la evaluación de la toxicidad ambiental. *Revista de Ciencias Ambientales y Geoquímica*, 12(2), 45-58. 12(2), 45-58.
- UNESCO. (2024). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org>.
- Villena, J. (2018). *Calidad del agua y desarrollo sostenible. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172646342018000200019*.
- Walling, D. E., & Collins, A. L. (2008). *The catchment sediment budget as a management tool. Environmental Science & Policy*, 11(2), 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2007.10.004>.
- WHO. (2022). World Health Organization. *Cadmium in drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: WHO Press. <https://www.who.int>.

ANEXOS

Anexo 1. *Equipo de investigación.*



Anexo 2. *Muestreo del agua del río Pongora en época seca.*



Anexo 3. *Muestreo del agua del río Pongora en época lluviosa.*



Anexo 4. *Medición de la temperatura del agua del río Pongora en época seca.*



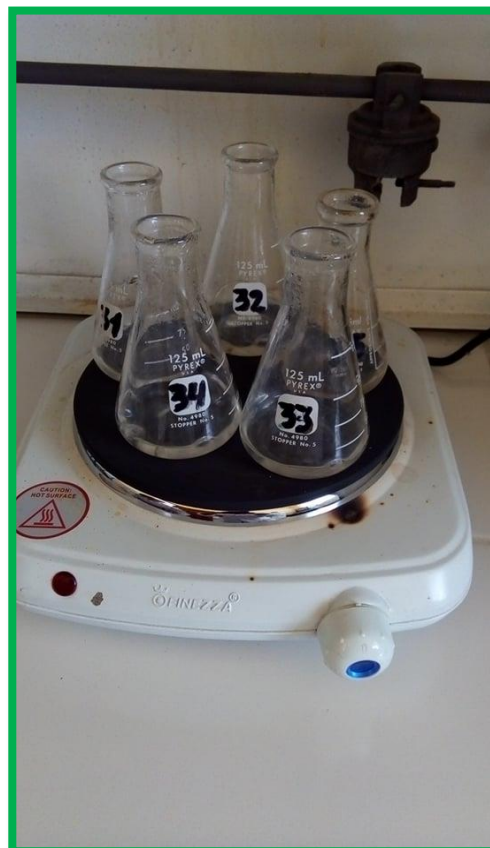
Anexo 5. *Medición de la temperatura del agua del río Pongora en época lluviosa.*



Anexo 6. *Preparación de materiales para la digestión del agua en el laboratorio de suelos.*



Anexo 7. *Procedimiento de digestión del agua lentamente hasta que el volumen disminuya a 10 – 20 mL.*



Anexo 8. *Aforado en una fiola a 50mL con agua destilada y envasado de muestras de agua.*



Anexo 9. *Muestras envasadas de agua de río Pongora.*



Anexo 10. Procesos de la digestión del agua.



Anexo 11. Resultados de los análisis del agua del río Pongora de la época de estiaje.



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS DE AGUA

1150996

SOLICITANTE: Srta. Rosbeth Astopillo Vargas

PROYECTO: Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022.

REGIÓN: Ayacucho

PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: Pacaycasa

FECHA DE INGRESO: Julio-Agosto-21

FECHA DE RESULTADOS: 03-04-25

CAMPO	LABORATORIO	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T (NTU)	T° (°C)	SST (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)
S-P 1	A01466	7.15	349	3.37	13.3	74.6	0.03	ND	ND
S-P 2	A01467	7.36	551	3.16	13.4	68.2	0.03	ND	ND
S-P 3	A01468	7.12	497	2.43	15.3	56.7	0.02	ND	ND
S-P 5	A01469	7.09	602	3.82	16.1	66.5	0.02	ND	ND
S-P 4	A01470	7.28	635	1.02	17.9	71.3	0.01	ND	ND
S-P 6	A01471	7.45	677	10.5	19.2	57.3	0.01	ND	ND
S-P 7	A01472	7.22	598	1.94	21.6	68.9	0.01	ND	ND
S-P "A"	A01473	7.14	253	15.9	12.9	52.4	0.01	ND	ND
S-P "B"	A01474	7.16	165	1.08	10.5	35.6	0.01	ND	ND
S-P "C"	A01475	7.48	992	1.87	20.7	81.3	0.02	ND	ND
S-P "D"	A01476	7.35	864	1.24	20.5	57.1	0.01	ND	ND

03-04-2025

Ph.D. Marbleny Cárda Gómez
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889

982781298 agrolab107@gmail.com

Anexo 12. Resultados de los análisis del agua del río Pongora de la época de lluvia.



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS DE AGUA

1150995

SOLICITANTE: Srta. Rosbeth Astopillo Vargas

PROYECTO: Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022.

REGIÓN: Ayacucho

PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: Pacaycasa

FECHA DE INGRESO: Febrero y marzo-22

FECHA DE RESULTADOS: 03-04-25

CAMPO	LABORATORIO	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T (NTU)	T° (°C)	SST (ppm)	Cd	Cr (ppm)	Pb
L-P1	A01455	7.12	345	6.44	10.5	287.1	0.02	0.01	ND
L-P2	A01456	7.25	416	12.13	11.8	287.1	0.02	0.02	ND
L-P3	A01457	7.05	426	13.63	13.3	243.6	0.02	0.02	ND
L-P4	A01458	7.01	556	15.11	14.2	358.4	0.02	ND	ND
L-P5	A01459	7.14	465	9.84	15.5	402.7	0.03	ND	ND
L-P6	A01460	7.21	603	13.45	15.2	466.8	0.02	ND	ND
L-P7	A01461	7.1	560	8.46	15.9	399.6	0.02	ND	ND
L-P "A"	A01462	7.09	187	18.7	7.9	65.2	0.02	ND	ND
L-P "B"	A01463	7.15	322	3.51	8.5	65.7	0.02	ND	ND
L P "C"	A01464	7.31	846	9.64	6.1	512.4	0.02	0.01	ND
L P "D"	A01465	7.22	758	4.56	16.5	545.5	0.03	ND	ND

03-04-2025

Ph.D. Marbleni Cárdena Gómez
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889

982781298 agrolab107@gmail.com

Anexo 13. Ubicación de los puntos del muestreo del río Pongora.



Anexo 14. Resultados y descripción de los puntos de muestreo de los análisis del agua del río Pongora de la época de estiaje.

Campo	Descripción	Laboratorio	pH	CE	T	T°	SST	Cd	Cr	Pb
				(µS/cm)	(NTU)	(°C)	(ppm)	(ppm)		
S-P "A"	Río Muyurina	A01473	7.14	253	15.9	12.9	52.4	0.01	ND	ND
S-P "B"	Río Huayllapampa	A01474	7.16	165	1.08	10.5	35.6	0.01	ND	ND
S-P 1	Río Pongora	A01466	7.15	349	3.37	13.3	74.6	0.03	ND	ND
S-P 2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	A01467	7.36	551	3.16	13.4	68.2	0.03	ND	ND
S-P 3	Río Pongora - Bosque	A01468	7.12	497	2.43	15.3	56.7	0.02	ND	ND
S-P 4	Río Pongora - Compañía	A01469	7.09	602	3.82	16.1	66.5	0.02	ND	ND
S-P 5	Río Pongora - Morro	A01470	7.28	635	1.02	17.9	71.3	0.01	ND	ND
S-P 6	Río Pongora - Cantera	A01471	7.45	677	10.5	19.2	57.3	0.01	ND	ND
S-P 7	Río Pongora + Río Simpapata	A01472	7.22	598	1.94	21.6	68.9	0.01	ND	ND
S-P "C"	Río Cachi	A01475	7.48	992	1.87	20.7	81.3	0.02	ND	ND
S-P "D"	Río Cachi + Río Pongora	A01476	7.35	864	1.24	20.5	57.1	0.01	ND	ND

Anexo 15. Resultados y descripción de los puntos de muestreo de los análisis del agua del río Pongora de la época de lluvia.

Campo	Descripción	Laboratorio	pH	CE	T	T°	SST	Cd	Cr	Pb
				(µS/cm)	(NTU)	(°C)	(ppm)	(ppm)		
L-P "A"	Río Muyurina	A01462	7.09	187	18.7	7.9	65.2	0.02	ND	ND
L-P "B"	Río Huayllapampa	A01463	7.15	322	3.51	8.5	65.7	0.02	ND	ND
L-P1	Río Pongora	A01455	7.12	345	6.44	10.5	287.1	0.02	0.01	ND
L-P2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	A01456	7.25	416	12.13	11.8	287.1	0.02	0.02	ND
L-P3	Río Pongora - Bosque	A01457	7.05	426	13.63	13.3	243.6	0.02	0.02	ND
L-P4	Río Pongora - Compañía	A01458	7.01	556	15.11	14.2	358.4	0.02	ND	ND
L-P5	Río Pongora - Morro	A01459	7.14	465	9.84	15.5	402.7	0.03	ND	ND
L-P6	Río Pongora - Cantera	A01460	7.21	603	13.45	15.2	466.8	0.02	ND	ND
L-P7	Río Pongora + Río Simpapata	A01461	7.1	560	8.46	15.9	399.6	0.02	ND	ND
L P "C"	Río Cachi	A01464	7.31	846	9.64	6.1	512.4	0.02	0.01	ND
L P "D"	Río Cachi + Río Pongora	A01465	7.22	758	4.56	16.5	545.5	0.03	ND	ND

Anexo 16. Cálculo del ICA -PE del agua de río Pongora de la época de estiaje y lluvia.

Cálculo del ICA -PE del agua de río Pongora de la época de estiaje.

El procedimiento para calcular el índice de calidad del agua, requiere previamente evaluar lo siguiente;

F1 - Alcance: representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA- Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$F1 =$	$\frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA - Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$
--------	---

Época de estiaje

$$F1 = \frac{2}{8} = 0.25 * 100$$

$$F1 = 25$$

Época de lluvia

$$F1 = \frac{2}{8} = 0.25 * 100$$

$$F1 = 25$$

F2 - Frecuencia: representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar.

$F2 =$	$\frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA - Agua de los Datos Evaluados}}{(\text{Número Total de Datos Evaluados})}$
--------	--

Donde:

Datos = Resultados de los monitoreos

Época de estiaje

$$F2 = \frac{7}{88} = 0.0795 * 100$$

$$F2 = 7.95$$

Época de lluvia

$$F2 = \frac{20}{88} = 0.2273 * 100$$

$$F2 = 22.73$$

F3 - Amplitud: es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

F3 =	Suma Normalizada de Excedentes	* 100
	Suma Normalizada de Excedentes + 1	

Época de estiaje

Cálculo de excedentes (E)

$$E3a = \left(\frac{15.9}{6}\right) - 1 = 1.65 \quad E3e = \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1$$

$$E3b = \left(\frac{10.5}{6}\right) - 1 = 0.75 \quad E3f = \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1$$

$$E3c = \left(\frac{0.03}{0.01}\right) - 1 = 2 \quad E3g = \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1$$

$$E3d = \left(\frac{0.03}{0.01}\right) - 1 = 2$$

$$SNE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

$$\sum SNE \text{ excedentes } F3 = \left(\frac{9.40}{88}\right) = 0.1068$$

Cálculo de F3 de la época de estiaje

$$F3 = \left(\frac{0.1068}{0.1068 + 1}\right) * 100 = 9.6509$$

$$F3 = 9.65 \%$$

Época de lluvia

Cálculo de excedentes (E)

$$E3a = \left(\frac{18.7}{6}\right) - 1 = 2.1167 \quad E3j = \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1$$

$$E3b = \left(\frac{6.44}{6}\right) - 1 = 0.0733 \quad E3k = \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1$$

$$\begin{aligned}
E3c &= \left(\frac{12.13}{6}\right) - 1 = 1.0217 & E3l &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 \\
E3d &= \left(\frac{13.63}{6}\right) - 1 = 1.2717 & E3m &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 \\
E3e &= \left(\frac{15.11}{6}\right) - 1 = 1.5183 & E3n &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 \\
E3f &= \left(\frac{9.84}{6}\right) - 1 = 0.6400 & E3ñ &= \left(\frac{0.03}{0.01}\right) - 1 = 2 \\
E3g &= \left(\frac{13.45}{6}\right) - 1 = 1.2417 & E3o &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 \\
E3h &= \left(\frac{8.46}{6}\right) - 1 = 0.4100 & E3p &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 \\
E3i &= \left(\frac{9.64}{6}\right) - 1 = 0.6067 & E3q &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 \\
E3b &= \left(\frac{0.02}{0.01}\right) - 1 = 1 & E3r &= \left(\frac{0.03}{0.01}\right) - 1 = 2
\end{aligned}$$

$$SNE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

$$\sum SNE \text{ excedentes } F3 = \left(\frac{21.90}{88}\right) = 0.2489$$

Cálculo de F3 de la época de lluvia

$$F3 = \left(\frac{0.2489}{0.2489 + 1}\right) * 100 = 19.9272$$

$$F3 = 19.93 \%$$

Cálculo del ICA – PE del agua de río Pongora en la época de estiaje y lluvia

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua, siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3; valor que se presenta en

un rango de 100 como un ICA de excelente calidad y 0 como valor que representa un ICA de pésima calidad.

Se expresa en la siguiente ecuación:

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

Época de estiaje

ICA – PE = 83.86

Época de lluvia

ICA – PE = 77.35



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. ROSBETH ASTOPILLO VARGAS
R.D. N° 357-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los siete días del mes de agosto del año dos mil veintiséis, siendo las dieciséis horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, Dr. Raúl José Palomino Marcatoma como asesor, Ing. Juan Benjamín Girón Molina y el Dr. Juan Charapaqui Anccasi; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma, presentado por la Bachiller **ROSBETH ASTOPILLO VARGAS**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

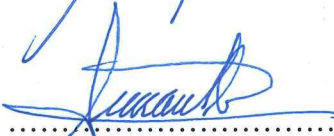
Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	16	17	18	17
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma	17	16	16	16
Ing. Juan Benjamín Girón Molina	16	15	16	16
Dr. Juan Charapaqui Anccasi	15	13	16	15
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Presidente


.....
Ing. Juan Benjamín Girón Molina
Jurado


.....
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma
Asesor


.....
Dr. Juan Charapaqui Anccasi
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado:

Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022

Autor : Rosbeth Astopillo Vargas
Asesor : Raúl José Palomino Marcatoma

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de doce por ciento **(12%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3018492121

Ayacucho, 26 de agosto de 2026

.....
Jorge Luis Huamancusi Morales

M.Sc. en Producción Agrícola
E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022

por Rosbeth Astopillo Vargas

Fecha de entrega: 26-ago-2026 10:49p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3018492121

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_-_ROSBETH_ASTOPILLO_VARGAS_-_E._P._AGRONOMÍA.pdf (4.32M)

Total de palabras: 29516

Total de caracteres: 167535

Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upsc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
3	vsip.info	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.concytec.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.udh.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.ucss.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unp.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.utea.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
11	repositorio.unh.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
12	repositorio.utc.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
13	doczz.es	<1%
	Fuente de Internet	
14	www.pref.gunma.jp	<1%
	Fuente de Internet	

repositorio.unsch.edu.pe

15	Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
23	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
24	Vargas Quea, Marcelino. "Evaluación de la contaminación del rio ananea-san antonio de Putina con arsenico ocasionado por la minería artesanal e informal y alternativas de remediación", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
25	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
28	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
29	1library.co Fuente de Internet	<1 %
30	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.unah.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

32	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1 %
	Trabajo del estudiante	
33	repositorio.unam.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
34	www.oefa.gob.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
35	infoagro.net	<1 %
	Fuente de Internet	
36	repositorio.unaj.edu.pe:8080	<1 %
	Fuente de Internet	
37	www.researchgate.net	<1 %
	Fuente de Internet	
38	Pérez Capa, Moisés. "Evaluación de riesgo ambiental en el área de influencia minera del río Crucero por plomo y mercurio - Distrito de Ananea", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)	<1 %
	Publicación	
39	sinat.semarnat.gob.mx	<1 %
	Fuente de Internet	
40	omp.rimanaeditorial.com	<1 %
	Fuente de Internet	
41	visorsig.oefa.gob.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
42	repositorio.unsm.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Variables físicas y químicas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora. Ayacucho, 2022.

Rosbeth Astopillo Vargas¹, Raúl José Palomino Marcatoma²

Área de investigación: Ingeniería y Ciencias básicas

Línea de Investigación: Ciencias de la tierra y el ambiente

rosbeth.astopillo.01@unsch.edu.pe

raul.palomino@unsch.edu.pe

RESUMEN

La calidad del agua de riego constituye un factor fundamental para el desarrollo sostenible de la actividad agrícola, debido a su influencia sobre la productividad de los cultivos, la conservación del suelo y la salud ambiental. La microcuenca del río Pongora, en Ayacucho, está influenciada por actividades antrópicas que pueden alterar las condiciones fisicoquímicas del agua y su aptitud para el uso agrícola. El estudio tuvo como objetivo evaluar las variables físicas y químicas del agua de riego y determinar su influencia en el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE). Se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental. Se evaluaron once puntos de muestreo durante las épocas de estiaje y lluvias. Las variables analizadas fueron temperatura, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), pH, conductividad eléctrica (CE), cadmio, cromo y plomo. Los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) y utilizados para calcular el ICA-PE, permitiendo establecer la condición del recurso hídrico y su calidad para fines agrícolas. Los resultados evidenciaron que la temperatura osciló entre 10,5 y 21,6 °C en estiaje y entre 6,1 y 16,5 °C en lluvias. La turbidez varió entre 1,02 y 15,9 NTU durante el estiaje y entre 3,51 y 18,7 NTU en lluvias, mientras que los SST alcanzaron valores de 35,6 a 81,3 mg L⁻¹ y de 65,2 a 545,5 mg L⁻¹, respectivamente. El pH registró valores entre 7,01 y 7,31 y la CE entre 187 y 846 µS cm⁻¹. Asimismo, se detectaron concentraciones de cadmio y cromo que superaron los límites establecidos por la normativa vigente en determinados puntos de monitoreo, mientras que el plomo no fue detectado. El ICA-PE alcanzó valores de 77,35 en época de lluvia y 83,86 en época de estiaje, clasificando el agua en la categoría “Buena”. Se concluye que el agua del río Pongora presenta condiciones adecuadas para riego agrícola; sin embargo, la presencia de metales pesados evidencia la necesidad de implementar programas permanentes de monitoreo y gestión ambiental.

Palabras clave: calidad del agua, agua de riego, ICA-PE, metales pesados, río Pongora, Ayacucho.

ABSTRACT

The quality of irrigation water is a fundamental factor for the sustainable development of agricultural activity due to its influence on crop productivity, soil conservation, and environmental health. The Pongora River micro-basin in Ayacucho is influenced by human activities that can alter the physicochemical conditions of the water and its suitability for agricultural use. This study aimed to evaluate the physical and chemical variables of irrigation water and determine their influence on the Water Quality Index (WQI). It was conducted using a quantitative approach, a descriptive level, and a non-experimental design. Eleven sampling points were evaluated during the dry and rainy seasons. The variables analyzed were temperature, turbidity, total suspended solids (TSS), pH, electrical conductivity (EC), cadmium, chromium, and lead. The results were compared with the Environmental Quality Standards for Water (EQS-Water) and used to calculate the WQI, allowing the determination of the water resource's condition and quality for agricultural purposes. The results showed that the temperature ranged from 10.5 to 21.6 °C during the dry season and from 6.1 to 16.5 °C during the rainy season. Turbidity varied from 1.02 to 15.9 NTU during the dry season and from 3.51 to 18.7 NTU during the rainy season, while total suspended solids (TSS) reached values of 35.6 to 81.3 mg L⁻¹ and from 65.2 to 545.5 mg L⁻¹, respectively. The pH ranged from 7.01 to 7.31, and the electrical conductivity (EC) ranged from 187 to 846 µS cm⁻¹. Furthermore, concentrations of cadmium and chromium exceeding the limits established by current regulations were detected at certain monitoring points, while lead was not detected. The ICA-PE (Water Quality Index - Agricultural Irrigation) reached values of 77.35 during the rainy season and 83.86 during the dry season, classifying the water as "Good." It is concluded that the water of the Pongora River presents suitable conditions for agricultural irrigation; however, the presence of heavy metals highlights the need to implement permanent monitoring and environmental management programs.

Keywords: water quality, irrigation water, ICA-PE, heavy metals, Pongora River, Ayacucho

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la producción agrícola y la seguridad alimentaria. En los sistemas de agricultura bajo riego, no solo es necesario disponer de suficiente agua, sino también conocer su calidad, debido a que sus características pueden influir en las condiciones del suelo y en el desarrollo de los cultivos. La calidad del agua puede variar por procesos naturales, como la erosión y las características geológicas de la zona, así como por las actividades humanas que se desarrollan alrededor de los cuerpos de agua (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

En el Perú, los recursos hídricos están expuestos a diferentes fuentes de contaminación relacionadas con el crecimiento poblacional y las actividades productivas. En las zonas agrícolas, el vertimiento de aguas residuales y el uso de agroquímicos pueden alterar las características físicas y químicas del agua. Por ello, la evaluación de estos parámetros es necesaria para conocer las condiciones del recurso y determinar su calidad de acuerdo con los criterios establecidos en la normativa nacional. El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referencia para la evaluación de la calidad de los recursos hídricos.

En la microcuenca del río Pongora, la agricultura bajo riego constituye una actividad importante y el agua del río es utilizada para la producción de hortalizas destinadas al mercado de la ciudad de Ayacucho. Sin embargo, durante su recorrido, el río recibe aportes provenientes de diferentes actividades desarrolladas en sus alrededores, entre ellos el vertimiento de aguas residuales y el arrastre de sustancias provenientes de terrenos agrícolas. Estas condiciones pueden modificar las características del agua y generar variaciones en su calidad, particularmente entre los periodos de estiaje y lluvias.

En este contexto, es necesario conocer las características del agua utilizada para el riego y determinar su condición mediante la evaluación de variables físicas y químicas. El Índice de Calidad del Agua (ICA) permite integrar los resultados de diferentes parámetros y expresar de manera conjunta la condición del recurso hídrico, facilitando su interpretación. La evaluación de estos parámetros también permite identificar aquellas características que pueden presentar condiciones desfavorables para el uso agrícola y generar información para el manejo adecuado del recurso.

El presente estudio evaluó las variables físicas y químicas consideradas en el índice de calidad del agua de riego del río Pongora y se analizaron muestras de agua recolectadas en diferentes puntos del río durante los periodos de estiaje y lluvias, con la finalidad de determinar su calidad y aportar información sobre las condiciones del recurso hídrico utilizado en la actividad agrícola de la microcuenca.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Área de estudio y muestreo

El estudio se realizó en la microcuenca del río Pongora, ubicada en el distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho. Para la evaluación de la calidad del agua se establecieron once puntos de monitoreo, distribuidos estratégicamente a lo largo del sistema hídrico. De estos, cuatro correspondieron a puntos de referencia: dos ubicados antes de la confluencia con el río Pongora, correspondientes al río Muyurina (PA) y al río Huayllapampa (PB), y dos puntos localizados en el río Cachi (PC) y en la confluencia de los ríos Cachi y Pongora (PD). Los siete puntos restantes se distribuyeron aproximadamente cada 1 km a lo largo de los 7 km de recorrido del río Pongora, comprendiendo sectores de aporte, confluencia y zonas ubicadas aguas abajo.

El monitoreo se realizó mediante dos campañas de muestreo, correspondientes a diferentes periodos hidrológicos. La primera se efectuó durante la época de estiaje, en los meses de julio y agosto de 2021, mientras que la segunda se realizó durante la época de lluvias, en los meses de febrero y marzo de 2022. En cada campaña se recolectaron muestras de agua en los once puntos establecidos para la evaluación de las variables físicas y químicas y la determinación del índice de calidad del agua de riego.

2.2. Variables evaluadas

Se determinaron la temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales como variables físicas; pH y conductividad eléctrica como variables químicas; y cadmio, cromo y plomo como metales pesados. Las mediciones y el tratamiento de las muestras siguieron los procedimientos descritos en la investigación original. Los

resultados se compararon con los valores de referencia aplicables al agua destinada a riego.

2.3. Determinación del ICA-PE

El índice se calculó mediante los factores F1, F2 y F3. F1 representa el alcance de los incumplimientos, F2 su frecuencia y F3 la amplitud o magnitud de las excedencias. El ICA-PE final se obtiene a partir de estos tres factores y se expresa en una escala de 0 a 100; valores mayores representan mejores condiciones de calidad.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de los análisis del agua del río Pongora

Tabla 1

Resultados y descripción de los puntos de muestreo de los análisis del agua del río Pongora de la época de estiaje

Código de campo	Descripción	Código del laboratorio	pH	CE (μ S/cm)	T (NTU)	T° (°C)	SST (ppm)	Cd	Cr	Pb
								(ppm)		
S-P "A"	Río Muyurina	A01473	7.14	253	15.9	12.9	52.4	0.01	ND	ND
S-P "B"	Río Huayllapampa	A01474	7.16	165	1.08	10.5	35.6	0.01	ND	ND
S-P 1	Río Pongora	A01466	7.15	349	3.37	13.3	74.6	0.03	ND	ND
S-P 2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	A01467	7.36	551	3.16	13.4	68.2	0.03	ND	ND
S-P 3	Río Pongora - Bosque	A01468	7.12	497	2.43	15.3	56.7	0.02	ND	ND
S-P 4	Río Pongora - Compañía	A01469	7.09	602	3.82	16.1	66.5	0.02	ND	ND
S-P 5	Río Pongora - Morro	A01470	7.28	635	1.02	17.9	71.3	0.01	ND	ND
S-P 6	Río Pongora - Cantera	A01471	7.45	677	10.5	19.2	57.3	0.01	ND	ND
S-P 7	Río Pongora + Río Simpapata	A01472	7.22	598	1.94	21.6	68.9	0.01	ND	ND
S-P "C"	Río Cachi	A01475	7.48	992	1.87	20.7	81.3	0.02	ND	ND
S-P "D"	Río Cachi + Río Pongora	A01476	7.35	864	1.24	20.5	57.1	0.01	ND	ND

Tabla 2

Resultados y descripción de los puntos de muestreo de los análisis del agua del río Pongora de la época de lluvia.

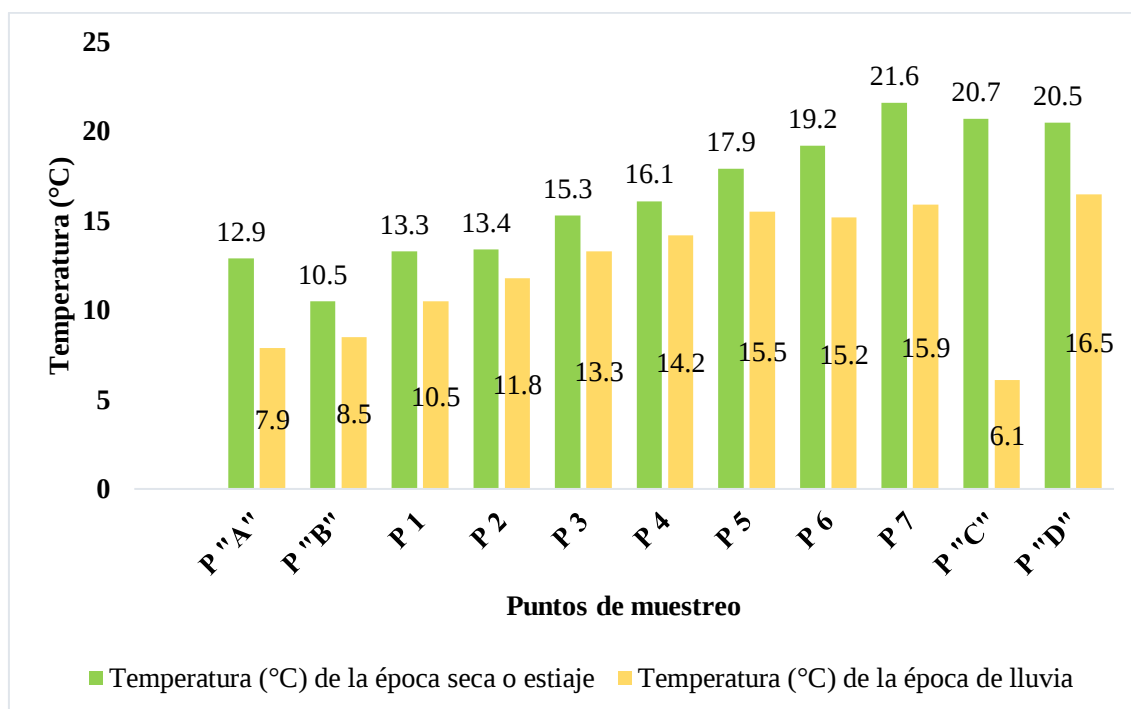
Código de campo	Descripción	Código del laboratorio	pH	CE (μS/cm)	T (NTU)	T° (°C)	SST (ppm)	Cd	Cr	Pb
								(ppm)		
L-P "A"	Río Muyurina	A01462	7.09	187	18.7	7.9	65.2	0.02	ND	ND
L-P "B"	Río Huayllapampa	A01463	7.15	322	3.51	8.5	65.7	0.02	ND	ND
L-P1	Río Pongora	A01455	7.12	345	6.44	10.5	287.1	0.02	0.01	ND
L-P2	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	A01456	7.25	416	12.13	11.8	287.1	0.02	0.02	ND
L-P3	Río Pongora - Bosque	A01457	7.05	426	13.63	13.3	243.6	0.02	0.02	ND
L-P4	Río Pongora - Compañía	A01458	7.01	556	15.11	14.2	358.4	0.02	ND	ND
L-P5	Río Pongora - Morro	A01459	7.14	465	9.84	15.5	402.7	0.03	ND	ND
L-P6	Río Pongora - Cantera	A01460	7.21	603	13.45	15.2	466.8	0.02	ND	ND
L-P7	Río Pongora + Río Simpapata	A01461	7.1	560	8.46	15.9	399.6	0.02	ND	ND
L P "C"	Río Cachi	A01464	7.31	846	9.64	6.1	512.4	0.02	0.01	ND
L P "D"	Río Cachi + Río Pongora	A01465	7.22	758	4.56	16.5	545.5	0.03	ND	ND

3.2. Características físicas de las muestras de agua en la época de estiaje y lluvia

3.2.1. Características físicas de las muestras de agua en la época de estiaje y lluvia

Figura 1

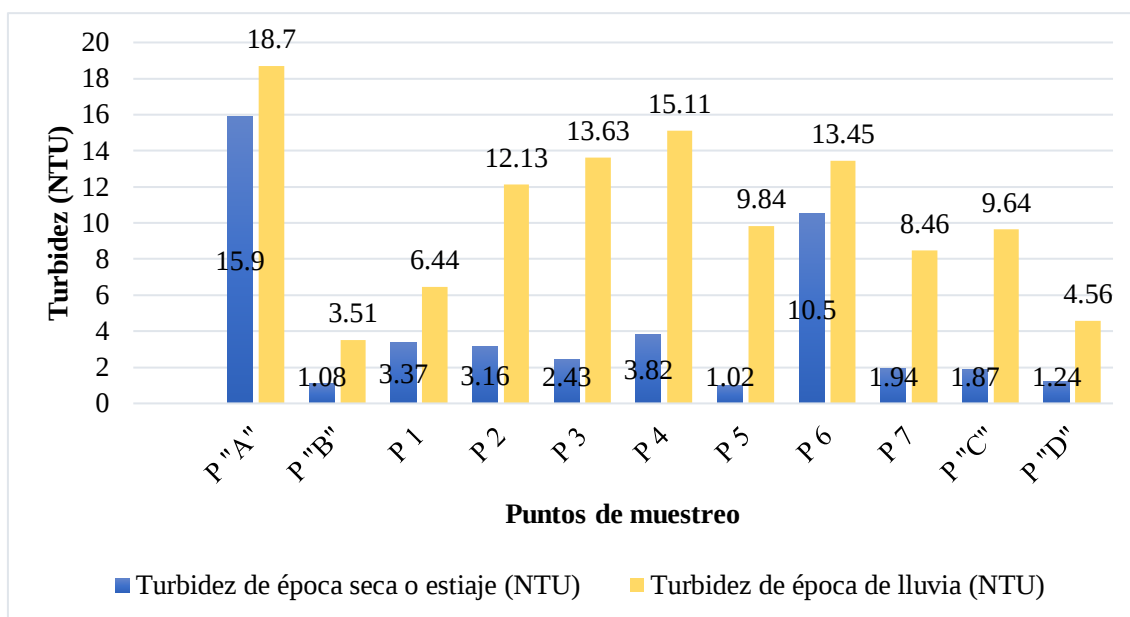
Temperatura del agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia.



La temperatura del agua del río Pongora presentó variaciones espaciales y estacionales, con valores más elevados durante el estiaje (10,5–21,6 °C) que durante la época de lluvias (6,1–16,5 °C). Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores como la radiación solar, temperatura del aire, caudal y cobertura vegetal ribereña. Al respecto, Larance et al. (2025) señalan que la reducción de la vegetación ribereña disminuye el sombreado del cauce y puede favorecer el incremento de la temperatura del agua. Asimismo, Palomino (2018) indica que la temperatura influye en la solubilidad de gases y sales, así como en diversos procesos fisicoquímicos y biológicos del agua. Por tanto, la variabilidad registrada en el río Pongora estaría asociada principalmente con la estacionalidad y las condiciones ambientales particulares de cada tramo de la microcuenca.

Figura 2

Turbidez del agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia.

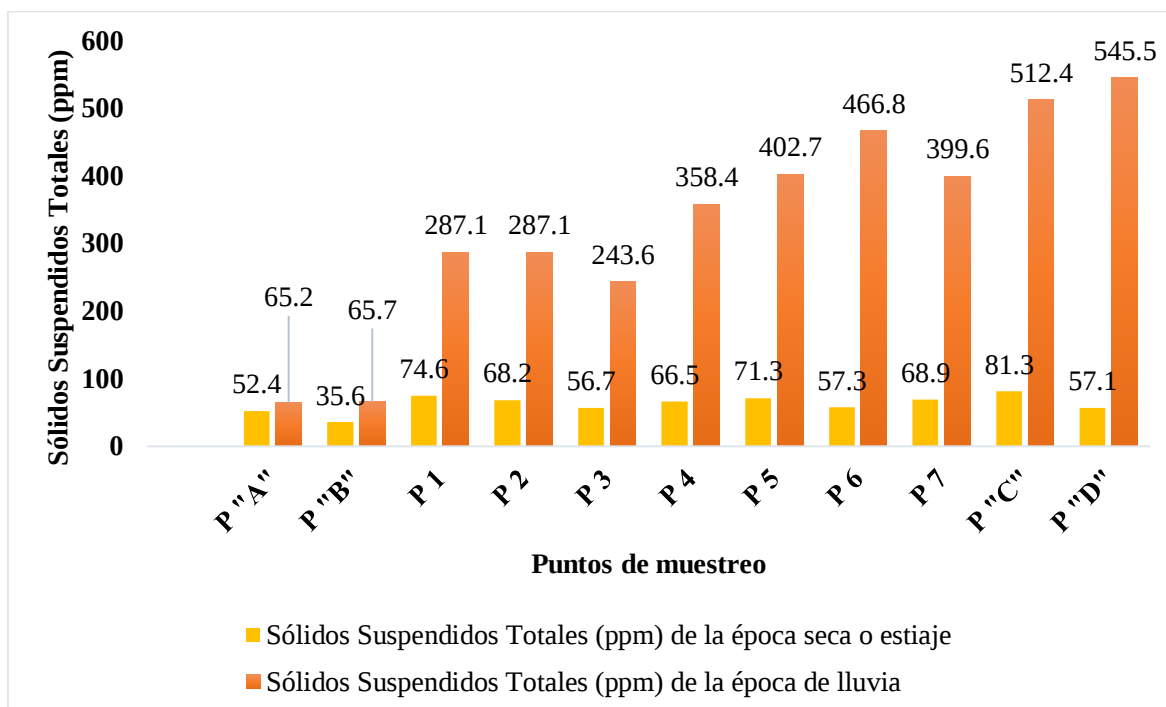


La turbidez del río Pongora durante la época seca presentó valores entre 1,02 y 15,9 NTU, con un promedio de 4,8 NTU. Los valores más elevados se registraron en S-P“A” (15,9 NTU) y S-P6 (10,5 NTU), mientras que los menores correspondieron a S-P5 (1,02 NTU) y S-P“B” (1,08 NTU). Esta variabilidad podría estar relacionada con procesos de erosión, escorrentía superficial y aporte de sedimentos provenientes de las actividades desarrolladas en las riberas. Gutiérrez (2019) reportó valores de 2,1 a 8,6 NTU en el río Cachi durante la época seca, mientras que Quispe (2021) registró valores de 1,5 a 12 NTU en el río Mantaro, asociando los mayores niveles con zonas agrícolas y procesos erosivos.

De acuerdo con la FAO (1994), valores de turbidez superiores a 10 NTU pueden favorecer la obstrucción de sistemas de riego presurizado. En el río Pongora, los puntos S-P“A” y S-P6 superaron este valor, por lo que su uso en sistemas de riego por goteo o aspersión podría requerir filtración previa. Asimismo, el MINAM (2017) señala que una elevada turbidez reduce la penetración de luz y puede afectar procesos fotosintéticos y organismos acuáticos. En conjunto, los resultados evidencian variaciones locales de la turbidez, por lo que resulta conveniente fortalecer el monitoreo y las prácticas de conservación de suelos en las zonas con mayor aporte de sedimentos.

Figura 3

Sólidos suspendidos totales del agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia.

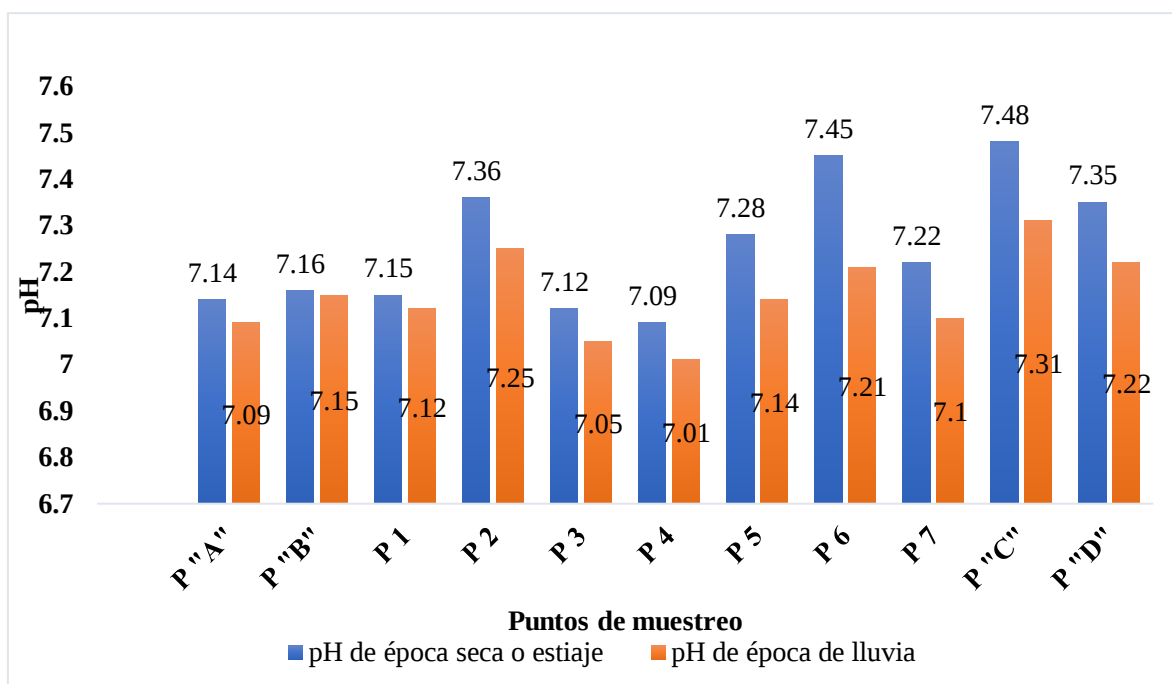


Los sólidos suspendidos totales (SST) del río Pongora presentaron una marcada variación estacional, con valores de 35,6–81,3 mg/L en estiaje y de 65,2–545,5 mg/L en lluvias. El incremento durante el periodo lluvioso estaría asociado con el aumento de la escorrentía y el arrastre de sedimentos hacia el cauce. Walling y Collins (2008) relacionan la producción de sedimentos con la intensidad de las lluvias, el uso del suelo y la cobertura vegetal. Este comportamiento coincide con Adu et al. (2025) e Hinostroza y Jiménez (2024), quienes reportaron mayores concentraciones de SST durante la época de lluvias.

El promedio de SST fue de 62,7 mg/L en estiaje y 330,37 mg/L en lluvias; el primero corresponde al rango de 50–100 mg/L que, según la FAO (1998), requiere atención en sistemas de riego localizado. Los resultados evidencian que la precipitación influye considerablemente en la concentración de SST, por lo que resulta necesario mantener el monitoreo estacional y aplicar medidas de conservación de suelos y protección de las riberas para reducir el aporte de sedimentos al río.

Figura 4

pH del agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia

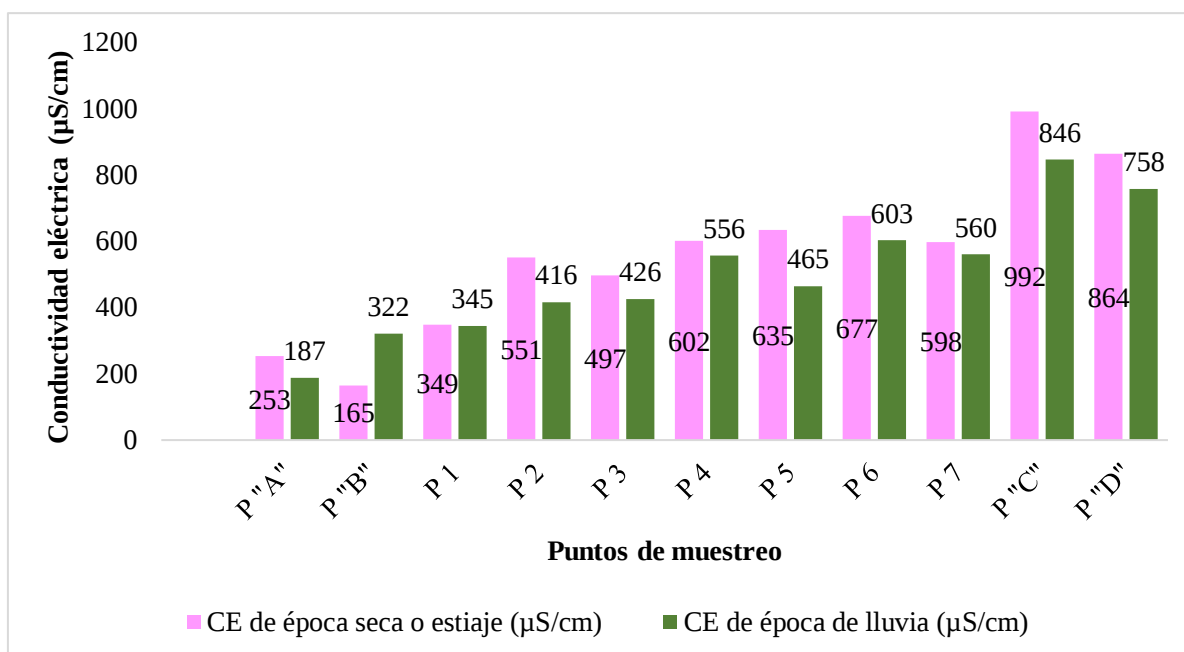


El pH del río Pongora presentó valores relativamente estables entre ambas épocas, con un promedio de 7,25 en estiaje y 7,15 durante las lluvias. Los valores registrados se mantuvieron dentro del rango de 6,5–8,5 establecido por el MINAM (2019) para aguas destinadas al riego agrícola, evidenciando una condición neutra a ligeramente alcalina. Esta estabilidad puede estar relacionada con la capacidad tampón del sistema y las características geológicas de la cuenca; al respecto, Chapman (1996) señala que el equilibrio carbonato-bicarbonato contribuye a regular el pH de las aguas superficiales.

Los resultados son comparables con los reportados por Ramos y Gutiérrez (2021) en el río Cunas y Huamán et al. (2020) en el río Mantaro, quienes encontraron valores cercanos a la neutralidad durante la época lluviosa. Asimismo, Dey et al. (2022) observaron un comportamiento similar en cuencas agrícolas. En conjunto, los valores obtenidos indican condiciones favorables del pH para el uso agrícola del agua del río Pongora, aunque resulta conveniente mantener su monitoreo debido a posibles variaciones asociadas con cambios en el uso del suelo y aportes de origen antrópico.

Figura 5

Conductividad eléctrica del agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia



La conductividad eléctrica (CE) del río Pongora presentó valores entre 165 y 992 $\mu\text{S/cm}$ durante el estiaje, con un promedio de 562,09 $\mu\text{S/cm}$, mientras que en la época de lluvias se observaron mayores valores en algunos sectores de la parte baja de la cuenca. Este comportamiento puede estar relacionado con la presencia y movilización de iones disueltos provenientes de la interacción del agua con el suelo, materiales geológicos y escorrentía superficial. Chapman (1996) señala que la CE en aguas superficiales está condicionada por la geología, el contacto agua-suelo y el aporte de escorrentía, mientras que APHA (2023) indica que este parámetro depende principalmente de la concentración y movilidad de los iones presentes en el agua.

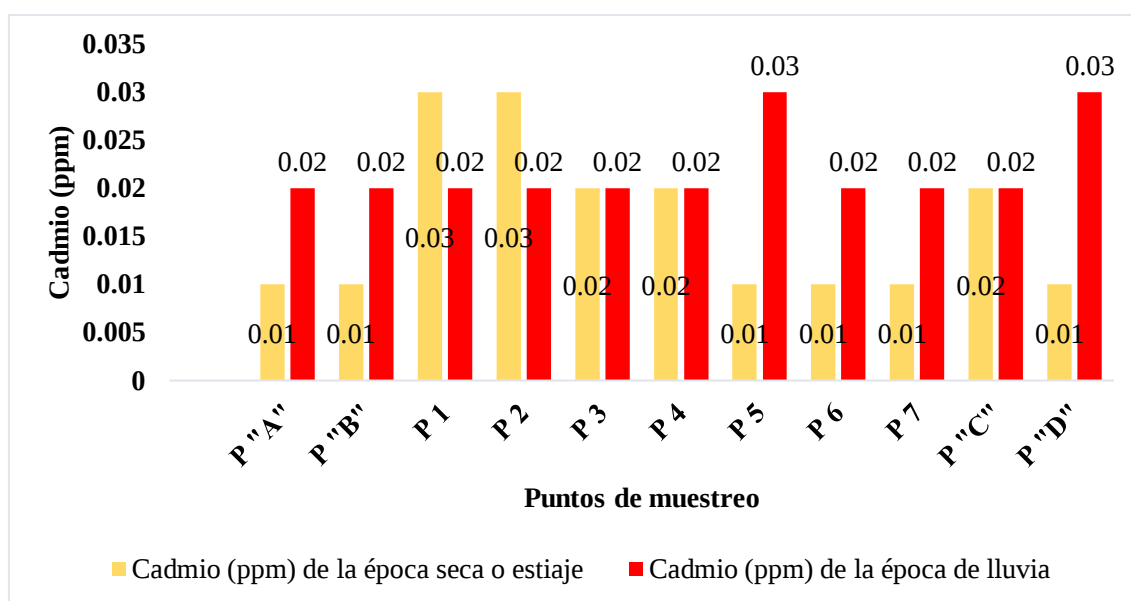
Los valores registrados se mantuvieron dentro de los criterios establecidos para el uso agrícola, ya que no superaron los 1 500 $\mu\text{S/cm}$ señalados por el MINAM (2019). Asimismo, la mayoría de los valores se encuentran por debajo de 700 $\mu\text{S/cm}$, nivel considerado por la FAO (2008) como de baja restricción para riego. Los resultados son comparables con los obtenidos por Huamán et al. (2020) en el río Mantaro y Ramos y Gutiérrez (2021) en el río Cunas, quienes relacionaron la variación de la CE con la disolución de sales del suelo y la actividad agrícola. En conjunto, el río Pongora presenta una CE compatible con el uso agrícola, aunque

los sectores con mayores valores requieren monitoreo para prevenir posibles incrementos de salinidad.

3.2.2. Concentración de metales pesados en el agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia.

Figura 6

Concentración del cadmio en el agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia.



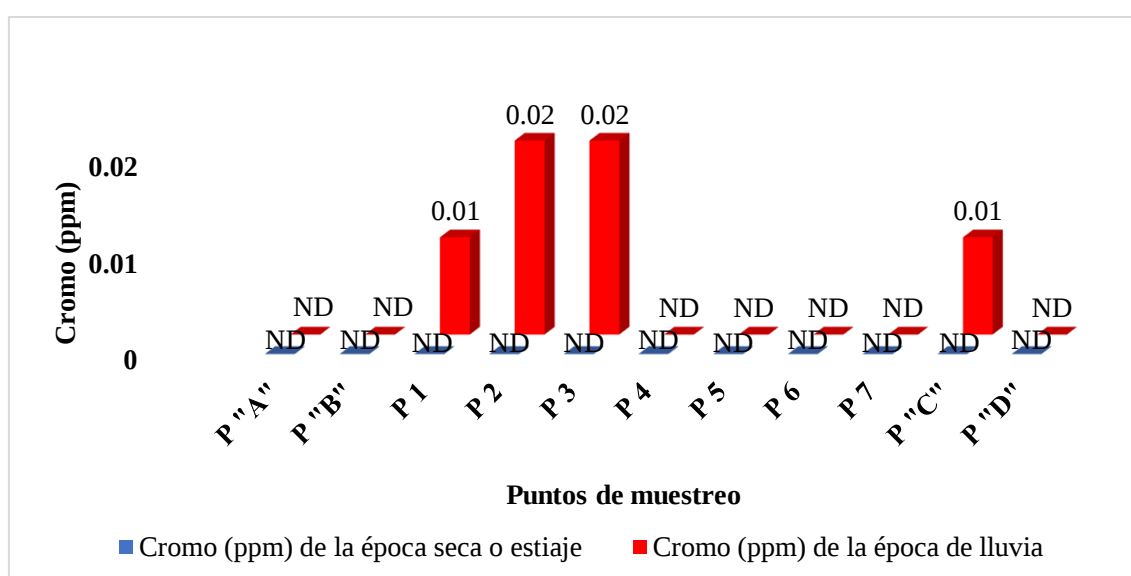
Las concentraciones de cadmio (Cd) en el río Pongora fueron superiores a los valores de referencia para el uso agrícola. Durante el estiaje oscilaron entre 0,01 y 0,03 mg/L, con un promedio de 0,016 mg/L, mientras que en la época de lluvias variaron entre 0,02 y 0,03 mg/L, con un promedio de 0,02 mg/L. Según el MINAM (2017), el valor establecido para Cd en aguas destinadas al riego de vegetales es de 0,01 mg/L, por lo que varios puntos de muestreo superaron este valor. Asimismo, las concentraciones registradas durante las lluvias excedieron el valor guía de 0,003 mg/L señalado por la OMS (2017). Este comportamiento podría estar relacionado con la movilización y el arrastre de contaminantes desde las áreas agrícolas mediante la escorrentía superficial.

La presencia de Cd en concentraciones elevadas constituye un aspecto relevante para la calidad del agua de riego, debido a su capacidad de acumularse en el suelo y ser transferido a los cultivos. La FAO (2024) advierte que concentraciones

superiores a 0,01 mg/L pueden favorecer la acumulación de este metal en suelos y productos agrícolas. Asimismo, la WHO (2022) reconoce los efectos asociados a la exposición prolongada al cadmio. En conjunto, los resultados evidencian la necesidad de fortalecer el monitoreo de metales pesados y el manejo adecuado de las fuentes potenciales de aporte en la microcuenca del río Pongora, particularmente durante la época de lluvias.

Figura 7

Concentración del cromo en el agua del río Pongora en la época de estiaje y lluvia.



Durante la época de estiaje, el cromo (Cr) no fue detectado en ninguno de los puntos de muestreo del río Pongora. En la época de lluvias, su presencia se registró únicamente en algunos puntos, con concentraciones de 0.01 a 0.02 mg/L, valores que se mantuvieron por debajo del límite de 0.1 mg/L establecido por el D.S. N.º 004-2017-MINAM para agua destinada al riego de vegetales (MINAM, 2017). Esta condición indica que el Cr no constituye una limitación para el uso agrícola del recurso hídrico. La variación espacial observada durante las lluvias podría estar relacionada con la dinámica del caudal, el transporte de sedimentos y procesos de dilución, considerando que los metales presentes en los cuerpos de agua pueden tener origen natural o estar asociados a actividades desarrolladas en la cuenca (ANA, 2023).

Los resultados fueron similares a los reportados por Plasencia (2022) en Carquín Chico, Hualmay, quien registró una concentración media de 0.0049 mg/L de Cr, dentro de los límites establecidos por la normativa peruana para uso agrícola. Aunque las concentraciones registradas en el río Pongora fueron ligeramente superiores, permanecieron dentro del estándar establecido. Desde la perspectiva del ICA, los bajos niveles de Cr evidencian que este parámetro no representa un factor determinante en la calidad del agua para riego; no obstante, es recomendable mantener su monitoreo, principalmente durante la época de lluvias, debido a las posibles variaciones asociadas a las condiciones hidrológicas y al transporte de sedimentos.

Durante las épocas de estiaje y lluvia, el plomo (Pb) no fue detectado en ninguno de los puntos de muestreo del río Pongora. Los resultados, registrados como no detectados (ND), indican que las concentraciones de este metal se encontraron por debajo del límite de detección del método analítico empleado.

3.3. Índice de Calidad del Agua de riego del río Pongora

3.3.1. Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de estiaje

Durante la época de estiaje (Figura 3), el río Pongora presentó un ICA-PE de 83,86, correspondiente a la categoría de buena calidad según la ANA (2018), evidenciando condiciones favorables para el uso agrícola. Los parámetros pH (7,09–7,48), conductividad eléctrica (promedio de 562,09 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y plomo se mantuvieron dentro de los valores establecidos, mientras que los sólidos suspendidos totales (35,6–81,3 mg/L) presentaron una incidencia moderada en el índice. No obstante, el cadmio (0,01–0,03 mg/L) constituyó el principal factor desfavorable, al superar los valores establecidos para agua de riego en determinados puntos y contribuir a la reducción del ICA-PE. En conjunto, los resultados indican que el río Pongora mantiene una condición favorable durante el estiaje; sin embargo, la presencia recurrente de cadmio evidencia la necesidad de fortalecer el monitoreo de la calidad del agua e identificar sus posibles fuentes de contaminación.

3.3.2. Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de lluvia

Durante la época de lluvias (Figura 4), el río Pongora presentó un ICA-PE de 77,35, correspondiente a la categoría de buena calidad según la ANA (2018), aunque inferior al valor registrado en estiaje (83,86). Esta disminución estaría relacionada principalmente con el incremento de la turbidez y los sólidos suspendidos totales, asociados al arrastre de sedimentos durante las precipitaciones. Asimismo, el cadmio presentó concentraciones de 0,02 a 0,03 mg/L, constituyéndose en uno de los principales parámetros que afectaron la calidad del agua, mientras que el cromo alcanzó valores de hasta 0,02 mg/L y no se detectó plomo. En contraste, el pH y la conductividad eléctrica presentaron condiciones favorables para el uso agrícola. En conjunto, los resultados evidencian que el agua mantiene una condición de buena calidad durante la época lluviosa, aunque presenta variaciones estacionales asociadas principalmente a procesos de escorrentía, transporte de sedimentos y presencia de metales.

La marcada diferencia entre las campañas evidencia el efecto de la dinámica hidrológica sobre la calidad física del río Pongora. Durante las lluvias, la escorrentía superficial y la erosión favorecen el ingreso de partículas al cauce, explicando el aumento simultáneo de turbidez y SST. Este comportamiento es relevante para el riego localizado, debido a que una mayor carga de sólidos puede incrementar el riesgo de obstrucción de emisores y exigir mayor mantenimiento de los sistemas de filtración.

Los valores de pH y conductividad eléctrica mostraron condiciones favorables. La CE registrada, inferior a $2500 \mu\text{S cm}^{-1}$ en los puntos evaluados, indica una concentración de sales disueltas que no representó la principal limitación para el uso agrícola. Este resultado concuerda con la literatura citada en la tesis, donde la conductividad es utilizada como indicador de salinidad y riesgo potencial para el suelo y los cultivos (FAO, 1998; Mateo et al., 2024).

Tabla 3

Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de estiaje.

Puntos de monitoreo				Época seca o estiaje										
Parámetros evaluados		Unid	ECA Cat 3 (LMP)	Río Muyurina	Río Huayllapampa	Río Pongora	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	Río Pongora - Bosque	Río Pongora - Compañía	Río Pongora - Morro	Río Pongora - Cantera	Río Pongora + Río Simpapata	Río Cachi	Río Cachi + Río Pongora
Variables Físicas	Temperatura	(°C)	30	12.9	10.5	13.3	13.4	15.3	16.1	17.9	19.2	21.6	20.7	20.5
	Turbidez	(NTU)	6	15.9	1.08	3.37	3.16	2.43	3.82	1.02	10.5	1.94	1.87	1.24
	Sólidos Suspendidos Totales	(ppm)	2000	52.4	35.6	74.6	68.2	56.7	66.5	71.3	57.3	68.9	81.3	57.1
Variables Químicas	pH	Unidad de pH	6.5 - 8.5	7.14	7.16	7.15	7.36	7.12	7.09	7.28	7.45	7.22	7.48	7.35
	C.E.	(µS/cm)	2500	253	165	349	551	497	602	635	677	598	992	864
	Cadmio	(ppm ó mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
	Cromo	(ppm ó mg/L)	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Plomo	(ppm ó mg/L)	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			2										
	Número Total de parámetros a Evaluar			8										
	Número de datos que NO cumplen el ECA			7										
	Número Total de Datos			88										
Cálculo de los factores del ICA - PE (F1, F2, F3)	F1			25										
	F2			7.95										
	Cálculo de los excedentes													
	Tubidez (NTU)			1.65							0.75			
	Cadmio (ppm ó mg/L)					2	2	1	1				1	
	Suma de excedentes/ N° Total de datos			0.1068										
	F3			9.65										
	ICA - PE			83.86										
				Bueno										

Tabla 4

Índice de calidad del agua de riego del río Pongora en la época de lluvia.

Puntos de monitoreo				Época de lluvia										
Parámetros evaluados		Unidad	ECA Cat 3 (LMP)	Río Muyurina	Río Huayllapampa	Río Pongora	Río Pongora - Puente colgante Quichkapata	Río Pongora - Bosque	Río Pongora - Compañía	Río Pongora - Morro	Río Pongora - Cantera	Río Pongora + Río Simpapata	Río Cachi	Río Cachi + Río Pongora
Variables Físicas	Temperatura	(°C)	30	7.9	8.5	10.5	11.8	13.3	14.2	15.5	15.2	15.9	6.1	16.5
	Turbidez	(NTU)	6	18.7	3.51	6.44	12.13	13.63	15.11	9.84	13.45	8.46	9.64	4.56
	Solidos Suspendidos Totales	(ppm)	2000	65.2	65.7	287.1	287.1	243.6	358.4	402.7	466.8	399.6	512.4	545.5
Variables Químicas	pH	Unidad de pH	6.5 - 8.5	7.09	7.15	7.12	7.25	7.05	7.01	7.14	7.21	7.1	7.31	7.22
	C.E.	(µS/cm)	2500	187	322	345	416	426	556	465	603	560	846	758
	Cadmio	(ppm ó mg/L)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
	Cromo	(ppm ó mg/L)	0.1	ND	ND	0.01	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	0.01	ND
	Plomo	(ppm ó mg/L)	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Datos	Número de parámetros que NO cumplen			2										
	Número Total de parámetros a Evaluar			8										
	Número de datos que NO cumplen el ECA			20										
	Número Total de Datos			88										
Cálculo de los factores del ICA - PE (F1, F2, F3)	F1			25										
	F2			22.73										
				Cálculo de los excedentes										
	Tubidez (NTU)			2.1167		0.0733	1.0217	1.2717	1.5183	0.6400	1.2417	0.4100	0.6067	
	Cadmio (ppm ó mg/L)			1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
	Suma de excedentes/ N° Total de datos			0.2489										
	F3			19.93										
				77.35										
	ICA - PE			Bueno										

El cadmio fue el contaminante químico de mayor relevancia. Su detección recurrente en las dos temporadas sugiere que podrían existir aportes persistentes dentro de la microcuenca. Estos resultados podrían estar relacionados con diversas fuentes de aporte, entre ellas el uso inadecuado o excesivo de fertilizantes fosfatados en las áreas agrícolas, el ingreso de aguas residuales, la erosión y meteorización de materiales geológicos, así como el arrastre de residuos provenientes de las actividades agrícolas durante los periodos de escorrentía. Sin embargo, debido a que en el presente estudio no se realizó la identificación y cuantificación de las fuentes de contaminación, estas condiciones deben considerarse como posibles factores asociados, cuya confirmación requeriría estudios específicos de caracterización y seguimiento de las fuentes de aporte en la microcuenca.

Durante las lluvias también se detectó cromo en puntos específicos. Aunque las concentraciones observadas fueron bajas, su incorporación al análisis integral del ICA-PE contribuyó a identificar zonas que requieren seguimiento. En contraste, la ausencia de plomo durante la campaña lluviosa representa una condición favorable.

El valor del ICA-PE disminuyó de 83,86 en estiaje a 77,35 en lluvia. La diferencia no cambia la categoría general, pero evidencia que la condición del recurso es más favorable en el periodo seco. La comparación con investigaciones citadas en la tesis muestra que el índice obtenido en Pongora fue superior a los valores reportados para el río Muyurina por Buitrón (2024) y para el río Cutuchi por Barrera y Cepeda (2020).

En conjunto, los resultados muestran que una calificación global de “Buena” no significa ausencia de problemas puntuales. La interpretación del índice debe acompañarse del análisis individual de los parámetros, especialmente cuando se presentan contaminantes con potencial de acumulación en el agroecosistema.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Las variables físicas del agua de riego del río Pongora presentaron variaciones estacionales, registrándose temperaturas entre 10,5 y 21,6 °C en estiaje y entre 6,1 y 16,5 °C en lluvias; la turbidez osciló entre 1,02 y 15,9 NTU en estiaje y entre 3,51 y 18,7 NTU en lluvias, mientras que los sólidos suspendidos totales alcanzaron valores máximos de 81,3 mg L⁻¹ y 545,5 mg L⁻¹, respectivamente.
2. Las variables químicas evaluadas mostraron valores de pH entre 7,01 y 7,31 y conductividad eléctrica entre 187 y 846 µS cm⁻¹, dentro de los límites permisibles para riego agrícola. Se detectaron concentraciones máximas de cadmio de 0,03 mg L⁻¹ y de cromo de 0,02 mg L⁻¹, que superan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en algunos puntos de monitoreo.
3. La integración de las variables físicas y químicas mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) permitió clasificar el agua del río Pongora como de calidad “Buena”, obteniéndose valores de 77,35 durante la época de lluvia y 83,86 durante la época de estiaje, evidenciando condiciones favorables para su uso en riego agrícola.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de monitoreo periódico de la calidad del agua del río Pongora, con énfasis en las épocas de estiaje y lluvias, para evaluar la evolución de los parámetros físicos y detectar oportunamente cambios en la calidad del recurso hídrico.
2. Realizar estudios complementarios para identificar las posibles fuentes de contaminación por cadmio y cromo en la microcuenca, considerando actividades agrícolas, mineras y asentamientos poblacionales, con la finalidad de establecer medidas de prevención y control.
3. Evaluar el contenido de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos irrigados con agua del río Pongora, a fin de determinar posibles procesos de acumulación y los riesgos asociados para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria.

V. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arones Medina, E. G., Veliz Flores, R. R., & Palomino Malpartida, Y. G. (2018). Evaluación de la calidad del agua del río Huatatas, aplicando el ICA, región Ayacucho. *Revistas de Investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.1.67>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado en los cuerpos de agua continentales superficiales. Autoridad Nacional del Agua.
- Buitron, S. (2024). Índice de calidad del agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina y propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga-Ayacucho 2018-2019 [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7122ec67-e9d8-4680-be8a-74bb6e1d0bf7/content>
- Cerna Cueva, A. F., Aguirre Escalante, C., Wong Figueroa, B. L., Leynig Tello Cornejo, J., & Pinchi Ramírez, W. (2022). Water quality for irrigation in the Huallaga Basin, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 239–248.
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1). FAO.
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. MINAM.
- Palomino, R. (2018). Evaluación espacio-temporal de metales pesados en la calidad del agua de los ríos Alameda y Muyurina, Ayacucho-2018 [Tesis, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Plasencia, C. Y. (2022). Evaluación de la concentración de metales pesados en el agua de riego de Carquín Chico, distrito de Hualmay, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].

Walling, D. E., & Collins, A. L. (2008). The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science & Policy*, 11(2), 136–143.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2007.10.004>