

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MASHCÓN – CAJAMARCA EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Cs. LUIS ALBERTO VARGAS PORTALES

Asesora:

Dra. FLOR DE MARÍA GARCÍA ACOSTA

Cajamarca, Perú

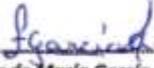
2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Luis Alberto Vargas Portales
DNI: 19331614
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Doctorado en Ciencias. Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales
2. Asesora: Dra. Flor de María García Acosta
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:

Calidad del agua del río Mashcón – Cajamarca en función del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento
6. Fecha de evaluación: **08/07/2025**
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **20%**
9. Código Documento: **3117:472564196**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **08/07/2025**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 ----- Dra. Flor de María García Acosta DNI: 26602021

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
LUIS ALBERTO VARGAS PORTALES
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDUC/D
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las 16:15 horas, del día 13 de febrero del año dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **Dr. WILFREDO POMA ROJAS** y en calidad de Asesora, la **Dra. FLOR DE MARÍA GARCÍA ACOSTA**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MASHCÓN – CAJAMARCA EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO**, presentada por el Maestro en Ciencias Educación Superior **LUIS ALBERTO VARGAS PORTALES**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó 18:00 B.P.R. con la calificación de DIECISIETE (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, el Maestro en Ciencias Educación Superior **LUIS ALBERTO VARGAS PORTALES**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Siendo las 18:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

[Firma]
.....
Dra. Flor de María García Acosta
Asesora

[Firma]
.....
Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Jurado Evaluador

[Firma]
.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

[Firma]
.....
Dr. Wilfredo Poma Rojas
Jurado Evaluador

A:

Dios todopoderoso por brindarme el milagro de vivir

Mi padre, ejemplo de trabajo y dedicación que me ilumina desde el cielo

Virginia, mi madre; fuente de inspiración

Maruja, mi compañera de toda la vida

Rodrigo y Gael, mis preciosos hijos

María, Manuel, Flor y Patricia, mis queridos hermanos

Eridson y Carlos, mis estimados primos

Gerson y sobrinos

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, al Departamento Académico de Ciencias Químicas y Dinámicas, a la Dra. Flor de María García Acosta por el valioso aporte para el desarrollo de la presente investigación; al Mg. Ricardo Uriol Valverde por el apoyo brindado en la elaboración de la presente investigación.

Del mismo modo, mi agradecimiento a mis queridos hijos, a mi esposa Maruja por la inmensa paciencia, apoyo y comprensión.

Finalmente, a todos los profesionales de la Universidad Nacional de Cajamarca que, de alguna manera, aportaron de manera totalmente desinteresada, solo con el objetivo de compartir conocimientos, vivencias y prácticas cotidianas en el mundo de la formación académica, investigación y docencia, que fueron imprescindibles para el desarrollo de la presente investigación.

El agua: el recurso más básico y a la vez el más indispensable
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ÍNDICE

	pág.
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Bases Teóricas.....	9
CAPÍTULO III.....	52
MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.2 Población y muestra	54
3.3 Método	54
CAPÍTULO IV.....	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1 Primer muestreo realizado el 12 de enero de 2020	63
4.2 Segundo muestreo realizado el 15 de junio de 2020.....	66

4.3 Tercer muestreo realizado el 16 de octubre de 2020.....	69
4.4 Cuarto muestreo 4 realizado el 12 de marzo de 2021	72
4.5 Resultados por indicadores establecidos en el ICA-NSF.....	75
4.6 Prueba de hipótesis por indicadores establecidos en el ICA-NSF	90
4.7 Resultados del ICA - NSF	105
CAPÍTULO V	109
CONCLUSIONES	109
CAPÍTULO VI.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
CAPÍTULO VII	117
APÉNDICES.....	117
ANEXOS	123

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 <i>ECA-Agua, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales</i>	30
Tabla 2 <i>Parámetros considerados en la Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales.</i>	33
Tabla 3 <i>Interpretación de la Calificación ICA- PE</i>	34
Tabla 4 <i>Rango de calidad del agua según ICA-NSF</i>	37
Tabla 5 <i>Localización de los puntos de muestreo</i>	65
Tabla 6 <i>Parámetros seleccionados</i>	68
Tabla 7 <i>Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF</i>	73
Tabla 8 <i>Rango de calidad del agua según ICA-NSF</i>	75
Tabla 9 <i>Punto de muestreo 1 RMash1 – Sector Huambocancha Baja</i>	76
Tabla 10 <i>Punto de muestreo 2 RMash2 – Sector La Molina</i>	77
Tabla 11 <i>Punto de muestreo 3 RMash3 – Sector Bella Unión</i>	78
Tabla 12 <i>Punto de muestreo 1 RMash1 - Sector Huambocancha Baja</i>	79
Tabla 13 <i>Punto de muestreo 2 RMash2 - Sector La Molina</i>	80
Tabla 14 <i>Punto de muestreo 3 RMash3 – Sector Bella Unión</i>	81
Tabla 15 <i>Punto de muestreo 1 RMash1 – Sector Huambocancha Baja</i>	82
Tabla 16 <i>Punto de muestreo 2 RMash2 – Sector La Molina</i>	83
Tabla 17 <i>Punto de muestreo 3 RMash3 – Sector Bella Unión</i>	84
Tabla 18 <i>Punto de muestreo 1 RMash1 – Sector Huambocancha Baja</i>	85
Tabla 19 <i>Punto de muestreo 2 RMash2 – Sector La Molina</i>	86
Tabla 20 <i>Punto de muestreo 3 RMash3 – Bella Unión</i>	87
Tabla 21 <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados</i>	103
Tabla 22 <i>Prueba de hipótesis para temperatura en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja</i>	104
Tabla 23 <i>Prueba de hipótesis para temperatura en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina</i>	104
Tabla 24 <i>Prueba de hipótesis para temperatura en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión</i>	105
Tabla 25 <i>Prueba de hipótesis para nitratos (NO₃)¹⁻ en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja</i>	106
Tabla 26 <i>Prueba de hipótesis para nitratos (NO₃)¹⁻ en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina</i>	106

Tabla 27 Prueba de hipótesis para nitratos (NO_3) ¹⁻ en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión	107
Tabla 28 Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja	108
Tabla 29 Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja	109
Tabla 30 Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina	109
Tabla 31 Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina	110
Tabla 32 Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión	111
Tabla 33 Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión	111
Tabla 34 Prueba de hipótesis para oxígeno disuelto (OD) en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja	112
Tabla 35 Prueba de hipótesis para oxígeno disuelto (OD) en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina	113
Tabla 36 Prueba de hipótesis para oxígeno disuelto (OD) en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión	113
Tabla 37 Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja	114
Tabla 38 Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina	115
Tabla 39 Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión	115
Tabla 40 Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja	116
Tabla 41 Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina	117
Tabla 42 Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes en el punto de muestreo 3 (RMash2) - sector Bella Unión	117
Tabla 43 Resultados del índice de calidad del agua NSF	118

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Componentes principales del problema de OD	41
Figura 2 Ubicación geográfica de los tres puntos de muestreo	66
Figura 3 Curva de valoración de la calidad de agua en función del % de saturación del oxígeno disuelto	74
Figura 4 Curva de valoración de la calidad de agua en función de Coliformes	74
Figura 5 Temperatura del agua en cada punto de muestreo	88
Figura 6 Oxígeno disuelto (OD) en cada punto de muestreo	90
Figura 7 Turbidez en cada punto de muestreo	92
Figura 8 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) en cada punto de muestreo	94
Figura 9 Coliformes termotolerantes en cada punto de muestreo	95
Figura 10 Potencial de hidrógeno (pH) en cada punto de muestreo	98
Figura 11 Nitratos (NO ₃) ¹⁻ en cada punto de muestreo	99
Figura 12 Fosfatos (PO ₄) ³⁻ en cada punto de muestreo	100
Figura 13 Sólidos Totales Disueltos (STD) en cada punto de muestreo	102
Figura 14 Comportamiento del índice de calidad del agua en el punto de muestreo 1 (RMash1)	119
Figura 15 Comportamiento del índice de calidad del agua en el punto de muestreo 2 (RMash2)	120
Figura 16 Comportamiento del índice de calidad del agua en el punto de muestreo 3 (RMash3)	121
Figura 17 Ubicación geográfica del punto de muestreo 1 (RMash1)- Sector Huambocancha Baja	130
Figura 18 Toma fotográfica del punto de muestreo 1 (RMash1)- Sector Huambocancha Baja	130
Figura 19 Ubicación geográfica del punto de muestreo 2 (RMash2)- Sector La Molina	131
Figura 20 Toma fotográfica del punto de muestreo 2 (RMash2)- Sector La Molina	131
Figura 21 Ubicación geográfica del punto de muestreo 3 (RMash3)- sector Bella Unión	132
Figura 22 Toma fotográfica del punto de muestreo 3 (RMash3)- sector Bella Unión	132
Figura 23 Curva de valoración de la calidad de agua en función de pH	133
Figura 24 Curva de valoración de la calidad de agua en función de la DBO ₅	133
Figura 25 Curva de valoración de la calidad de agua en función de iones nitratos (NO ₃) ¹⁻	134
Figura 26 Curva de valoración de la calidad de agua en función de la turbidez	134
Figura 27 Curva de valoración de la calidad de agua en función de la temperatura	135
Figura 28 Curva de valoración de la calidad de agua en función del residuo total	135
Figura 29 Curva de valoración de la calidad de agua en función de los iones fosfatos	136
Figura 30 Resultados del Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca	137

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APHA: American Public Health Association - Asociación Americana de Salud Pública

AWWA: American Water Works Association - Asociación Americana de Obras Hidráulicas

CA: Cluster análisis (Análisis de conglomerado)

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

ECA: Estándar de calidad ambiental

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ICA: Índice de calidad de agua

MINAM: Ministerio del ambiente

NESREA: National Environmental Estándar And Regulations Enforcement Agency

NMP: Número más probable

NSF-WQI: National Sanitation Foundation –Water Quality Index

NTU: Nephelometric Turbidity Unit (Unidad Nefelométrica de Turbidez)

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

OD: Oxígeno disuelto

OIP: Overall index of pollution (Índice general de contaminación)

OPS: Organización Panamericana de las Salud

PCA: Principle component analysis (Análisis de los componentes principales)

RMash1: Punto de muestreo 1, sector Huambocancha Baja

RMash2: Punto de muestreo 2, sector La Molina

RMash3: Punto de muestreo 3, sector Bella Unión

WQI: Water Quality Index (índice de calidad de agua)

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua en el río Mashcón en función del índice de calidad de agua establecidas por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF-WQI), así como determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas, relacionadas con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Se establecieron tres puntos de muestreo durante los meses de enero, junio y octubre (2020) y el mes de marzo (2021), cubriendo las épocas tanto de estiaje como de avenida. Los parámetros evaluados fueron: pH, temperatura, turbidez, fosfatos, nitratos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto (OD) y coliformes termotolerantes. Las mediciones fisicoquímicas y microbiológicas se realizaron en el Laboratorio de Regional del Agua - Cajamarca, siguiendo los protocolos establecidos por el APHA-AWWA (2017). Los resultados mostraron que el agua del río Mashcón en el punto de muestreo 1 califican en la categoría regular (ICA: 64 – 75), en el punto de muestreo 2 califican en la categoría regular (60 – 74) y en el punto de muestreo 3 califican en la categoría regular (44 – 60). Se evidencia un deterioro de la calidad cuando recorre y pasa por la ciudad de Cajamarca, siendo el punto de muestreo 3, en el sector de Bella Unión, el de mayor degradación de su calidad evidenciándose que en los meses de junio y octubre del año 2020 muestran los valores más bajos (44-46) que califican en la categoría de mala. Los iones nitratos (NO₃)¹⁻ y los coliformes termotolerantes sobrepasaron los Estándares de Calidad Ambiental para el agua categoría 3, subcategorías D1 y D2, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Palabras Clave: Río Mashcón, calidad de agua, ICA-NSF, ECA-AGUA.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the quality of water in the Mashcón River based on the water quality index established by the National Sanitation Foundation (NSF-WQI), as well as to determine the physicochemical and microbiological characteristics in relation to the Environmental Quality Standards for Water (ECA). Three sampling points were established during the months of January, June and October (2020) and the month of March (2021), covering both the dry season and the flood season. The parameters evaluated included: pH, temperature, turbidity, phosphates, nitrates, biochemical oxygen demand (BOD₅), total dissolved solids, dissolved oxygen (DO) and thermotolerant coliforms. The physicochemical and microbiological analyses were conducted at the Regional Water Laboratory - Cajamarca, following the protocols established by the APHA-AWWA (2017). The results indicated that water quality at sampling point 1 falls within the "medium" category (WQI: 64–75), at point 2 also within the "medium" category (WQI: 60–74), and at point 3 within the lower range of the "medium" category (WQI: 44–60). A decline in water quality was observed as the river passes through the urban area of Cajamarca, with sampling point 3—located in the Bella Unión sector—showing the highest level of degradation. Notably, in June and October 2020, WQI values dropped to their lowest levels (44–46), categorizing the water as "poor." Nitrate ions (NO₃⁻) and thermotolerant coliforms exceeded the Environmental Quality Standards for water, Category 3, Subcategories D1 and D2, as established in Supreme Decree No. 004-2017-MINAM.

Keywords: Mashcon River, water quality, NSF-WQI, EQS-Water

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El río Mashcón está formado por la confluencia de los ríos Grande y Porcón, presenta una superficie de cuenca aproximada de 270,07 km², su cauce principal recorre una longitud aproximada de 21,05 km con dirección oeste – este. El agua del río Mashcón es afluente del río Cajamarquino, que vierte el agua al río Crisnejas uno de los afluentes principales del río Marañón, el cual a su vez desemboca en el río Amazonas.

Al recorrer las márgenes del río Mashcón en los sectores Huambocancha Baja, Mayopata, la Molina hasta llegar al centro poblado Bella Unión, se observa que atraviesa por zonas rurales y urbanas del distrito de Cajamarca que, a lo largo de las riberas, los pobladores aprovechan el agua para uso agrícola, pecuaria y, en cierto modo, hasta recreativas. En los últimos años estas actividades se han ido incrementado considerablemente y al mismo tiempo han contribuido al incremento de contaminantes en este recurso hídrico.

Es importante resaltar que los pobladores que habitan en los alrededores de esta fuente de agua cuentan con deficiente redes de desagüe o letrinas, por lo que los desechos de origen animal y humano desembocan directamente en las aguas superficiales del río Mashcón; a ello se suma el arrojado de residuos sólidos en todo el recorrido de este río, contribuyendo al deterioro de la calidad del agua. A su vez muchos pobladores la utilizan, sin considerar que están contaminadas y puede generar daños a la salud y al medio ambiente.

De acuerdo a lo expuesto, se formuló el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es la calidad del agua del río Mashcón en función del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento?; siendo los problemas específicos: ¿Cuáles son los factores fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del río Mashcón, en función del índice de la Fundación Nacional de Saneamiento?; ¿Cuál es la variación espacio – temporal de los índices de calidad de agua del

río Mashcón en el recorrido entre los sectores de Huambocancha Baja, La Molina y Bella Unión?; ¿Cuál es la evaluación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del NSF-WQI relacionados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua?.

La investigación tuvo como objetivo principal determinar la calidad del agua del río Mashcón en función del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento, siendo los objetivos específicos: determinar la variación espacio – temporal de los índices de calidad de agua del río Mashcón en el recorrido entre los sectores de Huambocancha baja, La Molina y Bella Unión, por último, evaluar los parámetros físicos, químico y bacteriológicos del NSF-WQI relacionados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

Se estableció los índices de calidad de agua en base al análisis de nueve parámetros: pH, temperatura, turbidez, iones fosfatos (PO_4)³⁻, iones nitratos (NO_3)¹⁻, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes, lo cual permitió clasificar el agua superficial del río Mashcón, según el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF-WQI) y se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, cuya actualización se dieron en el año 2017 bajo Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3, subcategorías D1 y D2.

La obtención y transporte de muestras se realizó teniendo en cuenta el Protocolo Nacional de Monitorio de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), Los parámetros que se analizaron in situ fueron: temperatura (°C), potencial hidrógeno (pH), mientras que el resto de las mediciones fisicoquímicas y bacteriológicas se realizaron en el Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca, laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), mediante la norma ISO/IEC 17025:2006, siguiendo los protocolos establecidos en el APHA-AWWA (2017). Para la interpretación de los datos fisicoquímicos y bacteriológicos se emplearon el índice de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF-WQI). A estos índices se les asignó pesos

ponderados para cada una de las variables en función a la preponderancia que presenta cada índice y que se encuentran debidamente estandarizados.

El presente trabajo de investigación ha sido estructurado en siete capítulos: En el capítulo primero se desarrolla la introducción, considerando la problemática del deterioro de la calidad del agua del río Mashcón, los objetivos planteados y la metodología de la investigación. En el capítulo segundo se desarrolla el marco teórico que describe los antecedentes de la investigación, una síntesis de los conocimientos, así como las definiciones conceptuales de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que son considerados en el NSFQI . En el capítulo tercero se describe los materiales y métodos que permitieron obtener los datos, así como las técnicas e instrumentos y el método estadístico utilizado para el desarrollo de la investigación. En el capítulo cuarto se establecen los resultados y discusión, así como la comprobación de la hipótesis de investigación, con sus respectivas variables. En el capítulo quinto se enumeran las conclusiones de la investigación. En el capítulo sexto se listan las referencias bibliográficas. Finalmente, en el capítulo séptimo establecen los apéndices y anexos que hicieron posible la presente investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Akharamé y Obianke (2024), en su investigación: “Utilización del índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento para evaluar el estado de la calidad del agua del río Eruvbi en la ciudad de Benin, Nigeria”, evaluaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Fueron analizados el pH, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales (TDS), fosfato, nitrato, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD) y coliformes totales. Todos los parámetros se analizaron utilizando métodos estándar, cuyos resultados generales del National Sanitation Foundation –Water Quality Index (NSFWQI) indicaron una calidad del agua moderada, con valores del Water Quality Index (WQI) entre 54,04 y 61,95 en todos los lugares de muestreo. El arroyo medio tuvo el valor NSFWQI más bajo debido a la descarga de efluentes de una industria de bebidas carbonatadas. La calidad moderada del agua significa que se requiere un tratamiento adicional antes de que el agua pueda considerarse segura para beber y para uso doméstico. Finalmente concluyen que el protocolo NSFWQI facilita la explicación de la calidad del agua al público en general y a las autoridades, y puede ser una herramienta valiosa para la gestión del agua.

Matta et al. (2020), realizaron la “Evaluación de la calidad del agua utilizando NSFWQI, OIP y técnicas multivariadas del sistema del río Ganges, Uttarakhand, India”, cuyo objetivo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas del agua del río y proporcionar una imagen adecuada de la calidad actual del agua del río Ganges, a través de NSFWQI, modelo OIP y otras técnicas medioambientales como PCA, CA para facilitar los problemas emergentes. Se recolectaron muestras de agua del río Ganges para evaluar 19 determinantes fisicoquímicos en 20 lugares de muestreo. Se utilizaron técnicas

multivariadas para evaluar las condiciones del agua para el manejo productivo de la calidad del agua dulce. Los resultados del ICA mostraron que la calidad del agua superficial varió en cada lugar de muestreo seleccionado entre categorías regular y buena. El estudio consideró que la calidad del agua se ubica en clase buena o aceptable para los sitios aguas arriba (Gangotri y Uttarkashi) durante las temporadas de invierno y verano; mientras que se informó una ligera contaminación para los sitios aguas abajo (Puente Jatwara, Haridwar) durante la temporada de monzones. También se demostró que el ICA y los modelos estadísticos multivariados son enfoques beneficiosos para clasificar la variación espacial y temporal en la calidad del agua de los ríos, transformando el conjunto de datos en datos unitarios proporcionales y valores de índice numérico.

Méndez et al. (2020), en la investigación: “Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona – Ecuador. Realizaron el monitoreo de agua en tres diferentes estaciones de la micro-cuenca del río Copueno, en los meses de octubre, noviembre, diciembre de 2019 y enero del 2020, para medir parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Además, se realizó la identificación cualitativa y cuantitativa por medio del software IQA Data, el cual permitió identificar los parámetros que están influyendo directamente en la calidad del agua. Determinaron que el promedio de los índices de calidad para cada estación de muestreo presenta una clasificación diferente, siendo así en la estación 1 registró un valor de 71,68 dando así una clasificación de buena. Para la estación 2 proporcionó un resultado de 59,99 teniendo una clasificación de regular y la estación 3 proveyó un resultado de 41,02 con una clasificación de mala. El índice de calidad del agua (ICA-NSF), estimó situaciones perjudiciales para la composición del río Copueno principalmente por las descargas de las aguas residuales en diferentes zonas.

Roohollah et al. (2019), en la investigación “Una revisión crítica sobre la aplicación del Sistema Nacional de Saneamiento”, realizaron el muestreo en 13 estaciones para la evaluación de la calidad del agua en el río Sefidroud. Todos los parámetros de calidad del agua se analizaron según las pautas proporcionadas por los métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, APHA 2005; donde concluyen que la aplicación adecuada de NSFQI es importante para proporcionar resultados de alta calidad para la evaluación de cuerpos de agua.

Mupenzi et al. (2017), en la investigación “Evaluación del patrón espacial de la calidad del agua de los ríos de la cuenca del lago Kivu utilizando índices de contaminación de ríos y calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento”, cuyo objetivo fue evaluar la distribución espacial de la calidad del agua de 23 ríos de Ruanda que desembocan en el lago Kivu utilizando el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSFWQI) y el Índice de Contaminación de los Ríos (RPI). El estudio recopiló datos de campo y analizó los parámetros del NSFQI y el RPI, incluidos los sólidos suspendidos, la turbidez, la demanda biológica de oxígeno, el nitrato, la temperatura, el fósforo total, el pH, los coliformes fecales y el oxígeno disuelto. Los resultados mostraron que el agua de buena calidad (poco contaminada) se encontraba en áreas dominadas por tierras forestales, mientras que las clases de ríos malas y muy malas (39 %, 26 %) (gravemente contaminados) estaban influenciadas por el predominio de las tierras agrícolas. Además, el 22% de los ríos de clase media equivalían a un 26% de moderadamente contaminados, debido a la perturbación de otros tipos de uso del suelo y otros factores como la pendiente y las precipitaciones tropicales. Concluyeron que las ventajas de utilizar índices de calidad del agua en lugar de la evaluación de variables de calidad del agua individuales residen principalmente en la capacidad de los índices para

reducir la mayor parte de la información en un solo dato, para transmitir los datos de una manera simplificada y comprensible.

Ghada et al. (2013), en la investigación “Evaluación de la calidad del agua de los lagos del norte de Egipto (Bardawil, Manzala y Burullus) utilizando el índice NSF-WQI”; el objetivo fue aplicar el WQI (NSF-WQI) y el índice de contaminación por metales (MPI) de la National Science Foundation para estimar el estado de la calidad del agua y el grado de contaminación en tres lagos del norte de Egipto. El WQI del lago Bardawil fue evaluado como bueno (92,01) y excelente por NSF-WQI (95,18). Por otro lado, los lagos Manzala y Burullus fueron calificados como muy malos y no aptos. El lago Manzala se consideró inseguro para el consumo humano porque arrojó índices de contaminación más altos (MI, PI y MPI > 1 están contaminados con un ligero efecto que los lagos Bardawil y Burullus. Esto se debe a las enormes cantidades de desechos humanos, animales e industriales vertidos en el lago Manzala.

Rodríguez (2021), en su investigación: “Análisis de la calidad del agua en ríos de la cuenca Chancay-Lambayeque, Perú; cuyo objetivo fue analizar y evaluar la calidad ambiental de los cuerpos de agua de dicha cuenca, no solo en términos de sus principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sino a través de la aplicación de índices de calidad del agua, para lo cual se utilizó tanto el índice NFS-WQI (National Sanitation Foundation –Water Quality Index) como el índice ICA-PE (Índice de Calidad del Agua de Perú). Aplicando la metodología de NSF - WQI a los datos de monitoreo anual del agua superficial en la cuenca Chancay - Lambayeque, se han calculado los índices de calidad ambiental tanto de ríos como de quebradas dando como resultado el de una calidad en promedio de buena. Por otro lado, el menor índice de calidad para los ríos y quebradas se ha presentado en el año 2016 y la mejor en el año 2013; concluyendo que las concentraciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de ríos en su mayoría no

superan los valores indicados en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua en la Categoría 3 (agua para riego de vegetales y bebida de animales), por el contrario, las quebradas presentan un pH fuera del rango del ECA (6,5 – 8,5) y en lo que corresponde a los cuatro elementos contaminantes como son el aluminio, hierro, cobre y zinc estos sobrepasan el valor ECA en tres de las cuatro quebradas.

Marselina et al (2022) en la investigación: Métodos de evaluación del índice de calidad del agua para aguas superficiales: un estudio de caso del río Citarum en Indonesia. El ICA se calculó utilizando los métodos de evaluación del ICA de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF WQI), el ICA del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI) y el Índice de Calidad del Agua de Oregón (OWQI). Utilizaron el método de evaluación NSF WQI. El río Citarum obtuvo una calificación de calidad del agua "Regular" y "Mala" con un WQI que oscilaba entre 38,212 y 60,903 durante los meses secos, 49,089 y 62,348 durante los meses húmedos, 42,935 y 65,696 durante los años secos, y 39,002 y 58,898 durante los años húmedos. Los datos oscilaron entre 41,458 y 61,206 de cada estación de monitoreo, y entre 35,920 y 58,713 para los datos de cada año de monitoreo. Con base a estos resultados recopiladas de cada método, concluyeron que el método de evaluación WQI de NSF es el mejor para determinar la calidad del agua del río Citarum.

2.2 Bases Teóricas

2.1.1 *El agua.*

El agua es un compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, siendo una molécula sencilla pero crucial para los seres vivos que habitan nuestro planeta; de allí que la cantidad y fundamentalmente la calidad sea un valor preponderante para la sostenibilidad de la vida, para el desarrollo y bienestar de los seres vivos, incluyendo los seres humanos.

Según Añaños y Alva (2024), el agua, es una sustancia líquida sin olor, color o sabor que se encuentra en la naturaleza formando ríos, lagos y mares y cuya abundancia damos por descontada por ocupar las tres partes de nuestro planeta. Ella es la fuente principal de la que emana toda existencia en nuestro planeta, por lo que podemos concluir que una adecuada regulación del acceso, uso y disfrute del agua, reviste la mayor importancia (p. 28).

2.1.2 *Propiedades Físicas y Químicas del Agua*

Según Roldán y Ramirez (2018), una de sus propiedades físicas más importantes es el alto calor específico. El alto calor específico del agua hace que retenga el calor absorbido por un cuerpo de agua en un largo periodo o que requiera mucho calor para elevar su temperatura, lo que garantiza, a los seres vivos, una estabilidad térmica amplia y segura para su supervivencia. De igual manera, esto hace que los cambios climáticos sean lentos y poco bruscos (p. 15).

Según Castro (2021), el agua en estado puro no tiene color (incolora), sabor (insípida). Estas propiedades organolépticas son parámetros de calidad del agua; sin embargo, no son un factor clave para estimar la calidad del agua, ya que existen algunas sustancias que se presentan como contaminación “invisible”, que no se

detectan a simple vista. El agua es un gran disolvente, por eso la mayor parte del agua de la hidrósfera no está en estado puro, sino mezclada con otras sustancias, esto se debe a una propiedad llamada solvatación. Los seres vivos presentamos entre 65 – 70% de agua como parte de su composición, donde presenta diferentes funciones biológicas, tales como transporte de nutrientes, medio necesario para diversas reacciones, absorción de nutrientes, y fotosíntesis en las plantas, amortiguación térmica y transpiración; esta propiedad es aprovechada por los seres vivos para controlar la temperatura corporal (pp. 30-31).

Además, señala que el agua tiene una característica muy aprovechada en los procesos biológicos de los seres vivos, conocida como puentes de hidrógeno. Las moléculas de agua en los sistemas vivos rodean las enzimas formando puentes de hidrógeno. Estas interacciones hacen posible que las enzimas tengan estructuras terciarias o cuaternaria (forma tridimensional) y sus sitios activos, de tal manera que sin ello no fuera posible que se degradaran otras sustancias en los organismos. Una propiedad física del agua que permite la miscibilidad o no miscibilidad con otras sustancias es la polaridad. El agua también puede moldear el paisaje, erosionando suelos o montañas (Castro, 2021, pp. 31-33).

Se calcula que el mundo contiene cerca de 1 400 millones de km^3 de agua. Solamente el 0,003 % de esta enorme cantidad, alrededor de 45 000 km^3 , son los llamados “recursos de agua dulce”: el agua que teóricamente puede utilizarse para beber, la higiene, la agricultura y la industria. Pero no toda esta agua es accesible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

Según la OMS, en 2022 había en el mundo al menos 1 700 millones de personas que tomaban agua de fuentes contaminadas con heces. La contaminación

microbiana del agua potable como resultado de la presencia de heces supone el mayor riesgo de toxicidad. (Organización Mundial de la Salud, 2023).

El Perú no es una excepción en la problemática del agua, a pesar de contar con fuentes importantes, y que ha generado problemas asociados a este recurso como conflictos sociales, enfermedades y muerte.

El crecimiento demográfico y las actividades económicas asentadas en las cuencas hidrográficas vienen afectando los recursos hídricos por el uso indiscriminado del agua, la producción y manejo inadecuado de residuos, aguas residuales y residuos sólidos y aquellos procedentes de pasivos ambientales, minería informal, entre otros; que, al ser dispuestos en los cuerpos de agua, alteran su calidad afectando los diferentes usos y afectando los ecosistemas acuáticos (ANA, 2018, p.19).

2.1.3 Relevancia ambiental del agua

El agua es el compuesto químico más abundante de la biosfera, aparte de ser una de las sustancias más importantes del medio natural, imprescindible para el sustento de la vida en nuestro planeta. La abundancia del agua y su importancia se deben a sus particulares propiedades fisicoquímicas, que favorecen el desarrollo de una gran variedad de procesos químicos y biológicos en su seno (Domènech & Peral, 2012).

El agua es esencial para la vida y la prosperidad de las personas; por ello, hoy en día, sus reservas, su preservación y su gestión son políticas de Estado; con acciones transversales que involucran a sus diferentes organismos. Su atención requiere enfrentar múltiples retos para conseguir y mantener una adecuada calidad del agua, desafíos que deben enfrentar el aparato del Estado en primera línea y el

conjunto de la sociedad, organizada y sensibilizada en el uso racional, la defensa y la valoración de los recursos hídricos (Concytec, 2021).

Todas las formas de vida en la tierra dependen del agua, cada ser vivo requiere de un consumo diario de agua dulce, por eso se hace necesario e importante evaluar la calidad del agua en función, principalmente, al uso de este recurso. Por tanto, a continuación, se describe una aproximación a la definición de calidad de agua.

2.1.4 Calidad del agua

Existe una serie de factores que puedan determinar la calidad del agua, así como el conjunto de variables que permitan describir el estado de los cuerpos de agua, siendo difícil establecer una definición sencilla sobre calidad de agua. Teniendo en cuenta, además, que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual se encuentra destinado. Por ejemplo, puede ser para uso recreacional, bebida de animales, agrícola, entre otros.

Un acercamiento sobre la definición de calidad de agua puede ser lo manifestado por Sierra (2018), que define a la calidad de un ambiente acuático como i) Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y ii) la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. Es también importante señalar que la calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua.

Según Cunningham et al. (2023), cualquier cambio físico, químico o biológico en la calidad del agua que afecta negativamente a los organismos vivos

(o hace que el agua no sea apta para los usos deseados) puede considerarse contaminación (p. 285).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, la contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas como natación, buceo, canotaje, pesca, etc., e interferencia sobre actividades económicas como el riego, abastecimiento de agua para la industria, etc. La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:

- i) Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, acidez, etc.) o biológicas (bacterias termotolerantes).
- ii) Utilizando un índice de calidad de agua.

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro.

Otros autores como Pradana y García (2019) sostienen que la calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo de otros usos que se requieran para el agua, y en función a esto, se puede determinar la calidad del agua para dichos usos (p. 18)

En este contexto, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está exenta de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos (Lenntech 2006).

2.1.5 Estándar de Calidad Ambiental (ECA-Agua)

El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (Ley General del Ambiente - Ley N° 28611, p. 33).

Se ha establecido los estándares de calidad ambiental para el agua con la finalidad de preservar el ambiente y específicamente el agua evitando así que se sigan deteriorando la calidad de nuestro recurso hídrico.

La Autoridad Nacional del Agua - ANA - en el marco de sus funciones establecidas en la Ley N° 29338, presenta la “Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE, aplicada en los cuerpos de agua continentales superficiales”, como una herramienta que tiene como principal finalidad la valoración simplificada del estado de la calidad del agua, y que

contribuirá con una mejor presentación y a la gestión de calidad de los recursos hídricos (ANA, 2018, p.10).

Según el Ministerio del Ambiente, los estándares de calidad ambiental, ECA – Agua, son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo condiciones naturales o niveles de fondo, y el diseño de normas legales, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Es, en consecuencia, un instrumento útil para evaluar el estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua en las cuencas hidrográficas del país.

Para esto se establece Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Para la aplicación de los ECA para Agua se considera cuatro categorías:

Categoría 1: Poblacional y recreacional, los cuales se divide en subcategoría A: aguas superficiales destinados a la producción de agua potable; subcategoría B: aguas superficiales destinadas para recreación.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, los cuales se divide en subcategoría C1: extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras; C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras; Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras; subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, que se divide en Subcategoría D1: Riego de vegetales; Subcategoría D2: Bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles,

áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas. Se divide en Subcategoría E1: Lagunas y lagos; Subcategoría E2: Ríos Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo con el marco normativo vigente. En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

En función a lo descrito, podemos considerar al río Mashcón dentro de la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, además de los otros usos que se le puede dar a lo largo de su recorrido, como por ejemplo ser receptor de efluentes, para el lavado doméstico e industrial. Los parámetros se establecen en la tabla 1 que se describe a continuación:

Tabla 1*ECA-Agua, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICO – QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N)+ Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L	≥4		≥5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000		1000

Fuente: Publicado en el D.S. N° 004-2017, MINAM.

2.1.6 Índice de Calidad de agua (ICA-WQI)

En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua (Samboni et al. 2007).

Para Roohollah et al. (2019), el uso de WQI es una herramienta simple y poderosa para evaluar el estado de la calidad del agua en cuerpos de agua que permite examinar los cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo y el espacio.

Para simplificar la interpretación de los datos de su monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA) e índices de contaminación (ICO), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. La principal diferencia entre unos y otros está en la forma de evaluar los procesos de contaminación y el número de variables tenidas en cuenta en la formulación del índice respectivo (Fernández et al. 2008).

En el Perú, la evaluación de la calidad del agua se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA - Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; lo que determina su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua a la hora de precisar o establecer el nivel de calidad de agua del recurso hídrico, es decir si esta tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o pésima (ANA, 2018, p.21).

Los Índices de Calidad de Agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua.

De acuerdo con la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OCDE), los indicadores ambientales tienen dos funciones principales:

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

En ese sentido, los ICA's constituyen un instrumento fundamental debido a que permiten transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general.

Además de requerir menos información con relación al gran número de parámetros que se obtienen en un monitoreo para la evaluación de la calidad del agua, por ende, este ICA tiene la capacidad de resumir y simplificar datos y transformar la información haciéndola fácilmente entendible por los responsables de la gestión de la calidad de los recursos hídricos, por el público, los medios y los usuarios (ANA, 2018, p.22).

2.1.7 Estructura de cálculo de los ICA

La estructura de cálculo de la mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad agua; se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas.

2.1.8 Parámetros evaluados en el ICA-PE

De acuerdo con el análisis de la información procedente de los monitoreos de la calidad de los cuerpos de agua superficial realizados por la ANA, se han identificado los parámetros recurrentes de evaluación en concordancia con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, así como la posible alteración al recurso hídrico y eventual riesgo a la salud y al ambiente. Además, de tener en cuenta la categoría asignada al cuerpo de agua, se alinea a la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales” y a los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA - Agua) para los parámetros seleccionados en la aplicación de la metodología ICA – PE (ANA, 2018, p.31); en la tabla 2 se presenta los parámetros considerados para la categoría 3.

Tabla 2

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

N°	Parámetro	Unidades
01	Cloruros	mg/L
02	Conductividad	mg/L
03	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
04	Oxígeno Disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L
05	Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades de pH
06	Aluminio	mg/L
07	Arsénico	mg/L
08	Boro	mg/L
09	Cadmio	mg/L
10	Cobre	mg/L
11	Hierro	mg/L
12	Manganeso	mg/L
13	Mercurio	mg/L
14	Plomo	mg/L
15	Zinc	mg/L
16	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL
17	Huevos y larvas helmintos	Huevos/L

Fuente: ICA-PE aplicado los cuerpos de agua continentales superficiales.

El valor del índice de calidad de agua, ICA - PE, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente, como se observa en la tabla 3, que se muestra a continuación:

Tabla 3

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 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.

Fuente: ICA-PE aplicado los cuerpos de agua continentales superficiales.

2.1.9 El Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF-WQI)

El Índice de Calidad del Agua (ICA), consiste básicamente en una combinación de un número determinado de parámetros, las cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Puede ser usado como marco de referencia único para comunicar información sobre la calidad del ambiente

afectado y para evaluar la vulnerabilidad o la susceptibilidad del agua a la contaminación (Canter, 1996).

El índice de calidad del agua de la NSF-WQI se considera un índice integral y de aplicación general para la clasificación de los recursos hídricos superficiales en función de su calidad del agua (Roohollah et al., 2019).

El ICA-NSF (Fundación de Sanidad Nacional, por sus siglas en inglés), es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de las cuencas, comparando la calidad del agua de diferentes tramos de la misma cuenca además de compararlo con la calidad de agua de diferentes cuencas alrededor del mundo. Los resultados determinan si un tramo particular de una cuenca es saludable o no.

Este índice consta de nueve parámetros, entre ellos el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD), el pH, los sólidos totales (TS), la demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO₅), la turbidez, el fosfato total (TP), el nitrato (NO₃)¹⁻, el cambio de temperatura (ΔT) y los coliformes termotolerantes. Cada uno de estos parámetros tiene un peso individual proporcional a su impacto e importancia en el desarrollo del modelo NSF-WQI. Desde la introducción del NSF-WQI, se han realizado muchos estudios utilizando este modelo, o una versión actualizada del mismo, para evaluar la calidad del agua en diferentes cuerpos de agua (Misaghi et al., 2017).

2.1.9.1 Metodología del Diseño. El Índice de Calidad de agua “Water Quality Index” (WQI), fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, por medio del uso de la técnica de investigación Delphi de la “Rand Corporation’s” (Ball et al. 1980).

El INSF tiene característica de ser un índice multiparámetro. El ICA-NSF utiliza una suma lineal ponderada del efecto de las variables de respuesta y los resultados son expresados en forma numérica entera, en una escala de 0 a 100, donde los valores entre 0 y 25 representan una calidad muy pobre; 26 y 50 mala; 51 y 70 regular; 71 y 90 buena y entre 91 y 100 excelente. Esto encaja con el concepto del público general de valoraciones. La primera ecuación del índice fue un promedio geométrico ponderado:

El índice NSF se fundamenta en la ecuación:

$$\text{NSF} - \text{WQI} = \sum_{i=1}^9 SI_i * Wi$$

Donde, SI es el subíndice de la variable i, y Wi es el peso ponderado del subíndice.

El resultado final es interpretado de acuerdo con la tabla 4, que establece la escala de clasificación con el color correspondiente a cada rango:

Tabla 4*Rango de calidad del agua según NSF-WQI*

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Nota. Este índice tiene la particularidad de ser ampliamente usado en estudios ambientales.

2.1.10 Calidad de Aguas Superficiales

El estudio de la calidad del agua, especialmente la superficial, es un tema de consideración. Sin embargo, la definición de calidad del agua es de difícil especificación por su complejidad. Son dos los principales condicionantes de la composición química y biológica de las aguas superficiales y, en particular, de los ríos y canales. Por una parte, la disolución y arrastre de sustancias naturales que son propias de los terrenos por los que previamente han circulado las aguas, que podríamos definir como contaminación natural; por otra, la recepción de efluentes generados por la propia actividad humana, urbana, agrícola e industrial, que constituye la contaminación artificial. Cualquier análisis químico - biológico de las aguas manifiesta en sí mismo el efecto conjunto de las dos contaminaciones anteriores, sin que resulte posible, en la mayoría de las ocasiones, separarlas e identificarlas plenamente. Además, existe otro factor que influye en la valoración de las contaminaciones anteriores, el caudal circulante de los ríos, influido por los estiajes o momentos de riadas y avenidas que producen variaciones en la composición del agua en un mismo punto del cauce de los mismos. De ahí la importancia que tiene el definir un concepto de calidad del agua que permita

efectuar una abstracción total, tanto del origen como de los efectos de una determinada hidraulicidad, y que resulte de su composición en sí misma (Beamonte et al. 2004).

2.1.10.1 Indicadores de calidad del agua, según NSF-WQI

La Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (NSF), se enfoca en la determinación del Índice de Calidad de Agua, los cuales incluyen los siguientes parámetros:

- **Condiciones térmicas (temperatura).** Las condiciones térmicas del agua, es decir la temperatura, puede determinar el estado de calidad de la misma. Un aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases, reduciendo la cantidad de oxígeno disuelto (OD). Por otra parte, el calor aumenta la velocidad de las reacciones químicas y biológicas que se producen en el medio acuático. Se produce un mayor crecimiento de las algas y macrófitos, alteraciones en el desove de los peces, desplazamiento de especies, y por tanto modificaciones en la diversidad de estas en el ecosistema. La temperatura del agua aumenta la proliferación de parásitos y microorganismos patógenos, también se produce un aumento en la velocidad del metabolismo de los seres vivos con un aumento del consumo de oxígeno que en determinadas condiciones puede llegar a la anoxia (Pradana y García, 2019, p. 98).

La temperatura del agua suele ser mucho más estable que la del aire, por lo que los organismos acuáticos tienden a adaptarse mal a los cambios rápidos de temperatura. El aumento de la temperatura del agua puede tener efectos devastadores similares en organismos sensibles. La

solubilidad del oxígeno en el agua disminuye a medida que aumenta la temperatura, por lo que las especies que requieren altos niveles de oxígeno se ven afectadas negativamente por el calentamiento del agua. Los seres humanos también causan contaminación térmica al alterar la cubierta vegetal y los patrones de escorrentía. La reducción del flujo de agua, la tala de árboles en las riberas y la adición de sedimentos hacen que el agua se caliente y alteren los ecosistemas en un lago o en una corriente (Cunningham et al., 2023, p.290).

Para Sierra, la temperatura es tal vez el parámetro físico más importante del agua. Además de afectar a la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua, por ejemplo, coagulación, sedimentación, entre otros (Sierra, 2018, p.58).

Según APHA (2017), las temperaturas elevadas, consecuencia de descargas de agua calentada, pueden tener un impacto ecológico significativo. La lectura de cifras de temperatura se utiliza en el cálculo de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y de estabilidad respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de salinidad entre otros (p.2-88).

- **Condiciones de oxigenación.** El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro esencial para mantener vivos la fauna y la flora acuática. La medida de su concentración puede realizarse de una forma directa. Altos valores de DBO o DQO implicarían disminución de OD, presencia de materia orgánica descomponible, lo que degrada la calidad del agua y sus usos potenciales (Pradana y García, 2019, p. 98).

Su ausencia es signo de mala calidad del agua y probablemente contaminación. Los bajos niveles se deben a que bacterias que lo respiran lo han agotado. La depuración aeróbica ha terminado y se inicia la anaeróbica, con producción de ácido sulfhídrico y otros gases de mal olor originados por fermentaciones (Navas, 2017, p. 66).

Para Marín (2019), el oxígeno disuelto (OD) es un gas relevante en dinámica de aguas, siendo su solubilidad (como cualquier especie gaseosa) función de varios factores: temperatura, presión, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor, salinidad y composición fisicoquímica del agua, y siguiendo las leyes de Henry y Dalton al respecto. Además, el porcentaje de saturación de O₂ de un cuerpo de agua depende de la turbulencia, de la superficie de contacto entre gas y agua y, finalmente, de su contenido salino, especialmente del contenido en cloruros, como se deduce de la fórmula siguiente:

$$O_2 \text{ disuelto} = [0,678 * (P-V_p) * (1-S * 10^{-5}) / (t+35)]$$

siendo “P” presión atmosférica en mm de Hg, “V_p” presión de vapor en mm de Hg, “S” concentración de iones cloruros en mg/L y “t” temperatura en °C.

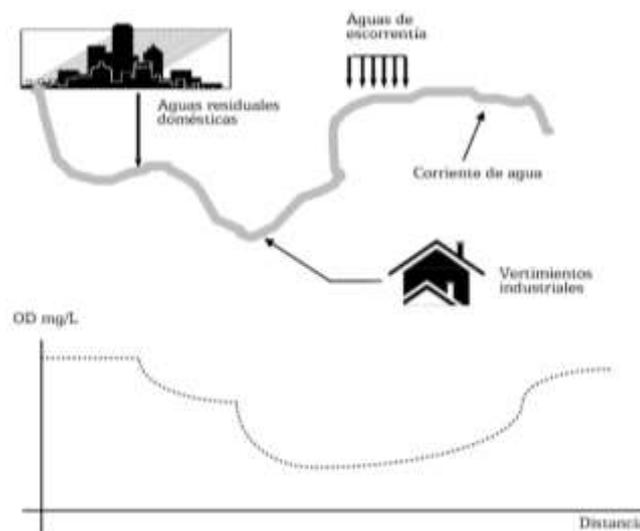
Según Roldán (2018), el oxígeno disuelto (OD) es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua, los valores normales varían entre 7,0 y 8,0 mg/L; según Baird & Cann (2014), la concentración media de oxígeno que se encuentra en aguas naturales superficiales no contaminadas en los Estados Unidos es de unos 10 mg/L. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde

rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos (p.3).

Para Sierra (2018), el problema del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua superficial ha sido reconocido por décadas. El impacto de una baja concentración de OD o de condiciones anaeróbicas se refleja en un ecosistema desbalanceado, mortandad de peces, olores y otras molestias estéticas. Asimismo, señala que el oxígeno disuelto, se ha convertido en el parámetro más importantes en el diagnóstico sobre el estado de contaminación de un ecosistema acuático. El problema del OD puede entonces resumirse como la descarga de desechos orgánicos e inorgánicos en un cuerpo de agua que ocasiona el descenso en las concentraciones de OD lo cual interfiere con los usos benéficos del agua (p.260), que se muestra en la figura 1.

Figura 1

Componentes principales del problema de OD



Nota. Según Sierra (2018), considera que los vertimientos más importantes están formados por las descargas de desechos industriales y aguas residuales domésticas.

Para Sierra (2018), la naturaleza del ecosistema, es decir, su capacidad para mantener una determinada concentración de OD (autodepuración, capacidad asimilativa) establece la concentración real de OD en el cuerpo de agua con el nivel o criterio de OD exigido por los usos del agua establecidos. El análisis del OD empieza con el inventario de los fenómenos que aportan y consumen OD en el cuerpo de agua.

Los aportantes o fuentes más importantes de OD son:

- Reaireación de la atmósfera.
- Fotosíntesis de las plantas acuáticas.
- OD aportado por los tributarios.

Los consumidores más importantes de OD son:

- Oxidación de la materia orgánica.
- Oxidación de material nitrogenado.
- Oxígeno demandado o consumido por el material depositados en el fondo (SOD).
- Oxígeno utilizado por las plantas acuáticas.

Considerando que las especies vivas que necesitan un alto grado de OD, tales como las especies de aguas frías, se asfixian y se desplazan hacia otras áreas o hacia otros tramos de río donde los recursos en oxígeno son superiores (Ramalho, 2021, p.19).

Sin un nivel apreciable de oxígeno disuelto, muchas clases de organismos acuáticos no podrían existir en el agua. El oxígeno disuelto se consume durante la degradación de materia orgánica en el agua. Muchas muertes de peces no se producen por la toxicidad directa de los contaminantes orgánicos, sino por una deficiencia de oxígeno debido a

su consumo en la biodegradación de los contaminantes por parte de bacterias (Manahan, 2007, p.41).

- **Turbidez y transparencia.** La turbidez en el agua es una medida de la dificultad de la luz para atravesar una masa de agua, en tanto que la transparencia es una medida de su capacidad de penetración. Estas dos propiedades de una masa de agua están estrechamente relacionadas con la concentración del material particulado (sólidos suspendidos) que hace que la luz se disperse radialmente a través de la masa de agua o se absorba y disminuya en intensidad rápidamente, en lugar de transmitirse sin alteración alguna. La turbidez es un indicador de calidad en el agua de consumo, en donde su presencia se toma inmediatamente como sospecha de contaminación. Aunque algunas especies de peces requieren de agua totalmente transparente para su subsistencia, otras no se afectan apreciablemente por la turbidez del medio. Sin embargo, se acepta que la turbidez afecta adversamente el desarrollo de los peces, debido a que esta reduce la intensidad y profundidad de penetración de la luz en los cuerpos naturales de aguas y, de esta forma, limita la disponibilidad de oxígeno disuelto y el crecimiento de las plantas que constituyen el sustento de los peces (Cardenas, 2022, p. 40).

La presencia de materias diversas en suspensión, arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos da lugar a la turbidez en el agua. Estas partículas (de dimensiones variables, desde 10 nm hasta diámetros de 0,1 nm) se pueden asociar a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas (provenientes de la descomposición o

agregación de restos vegetales) y partículas filamentosas (por ejemplo, restos de amiantos u otros filosilicatos) (Marín, 2019, p.15).

Las primeras provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la fracción más importante de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas naturales (Marín, 2019, p.16).

Según APHA (2017) la turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos (p. 2-12).

Desde el punto de vista del agua de consumo humano, considerando que el agua del río Mashcón pueda de ser utilizado para dicho fin, y de acuerdo con lo manifestado por Marín (2019), se suelen correlacionar valores altos de turbidez con la aparición de bacterias y virus. Por otro lado, los compuestos orgánicos productores de turbidez poseen un notable efecto adsorbente sobre los posibles plaguicidas en general existentes en un cuerpo de agua, dificultando de esta forma su eliminación, además de poder formar quelatos con metales, incrementando la resistencia a la reducción de estos en el posterior tratamiento del agua.

Finalmente, en cuerpos de agua naturales, la turbidez suele evolucionar en el mismo sentido al del aporte de aguas de escorrentías al medio hídrico, a su vez provocada por la existencia de precipitaciones, especialmente si estas son de carácter torrencial o se producen en terrenos susceptibles de una fácil erosión (Marín, 2019, p.16).

- **Materia en suspensión.** Las materias en suspensión están constituidas por compuestos inorgánicos y orgánicos, así como por restos vegetales y animales de diferente tamaño. La concentración de sólidos o materias en suspensión en las aguas es muy variable dependiendo de los cursos fluviales y está en función de la naturaleza del terreno atravesado, de la época del año, de las condiciones climatológicas de la zona, de las actividades industriales, de trabajos realizados en sus cauces, etc. (Pradana y García, 2019, p. 55).

Según Pradana y García (2019), los efectos más importantes producidos por este tipo de contaminante son:

- *Turbidez.* Al aumentar los sólidos en suspensión aumenta la turbidez lo que implica menor transparencia del agua y una menor penetración de la luz, alterando el funcionamiento normal de la flora y fauna acuática, dificultando el proceso de fotosíntesis y disminuyendo así la producción de oxígeno disuelto, incluso provocando condiciones anaerobias hasta alcanzar la anoxia del ecosistema.
- *Entarquinamiento.* La concentración excesiva de materia en suspensión cuando se deposita en el lecho del cauce y lo recubre, destruye los microhábitats existentes en él, las zonas de desove, etc.
- *Daños a la fauna.* La propia estructura de la materia en suspensión puede producir lesiones físicas en la epidermis y branquias de la fauna acuática, facilitando procesos parasitarios e infecciosos y un aumento en la mortandad en el ecosistema.
- *Aporte de sustancias.* Las materias suspendidas, por su propia naturaleza (materias solubles, materia orgánica) o por las sustancias

adsorbidas en ellas (plaguicidas, fertilizantes) pueden aportar una serie de contaminantes tóxicos al recurso hídrico, salinización, etc.

- *Alteración de los usos.* El aumento de las materias en suspensión puede dañar y colmatar instalaciones y conducciones de agua, producir incrustaciones y espumas en calderas, pueden reducir los efectos de los tratamientos desinfectantes. El mal aspecto limita los usos recreativos.
- **Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO).** El parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar, estabilizar, entre otros, la materia orgánica. La prueba de DBO más conocida es la DBO₅. Esta prueba se realiza incubando la muestra de agua en el laboratorio y al cabo de cinco días se mide el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en mg/L de oxígeno consumido (Sierra, 2018, p 75). La demanda de oxígeno por estos microorganismos se incrementa con el contenido de materia orgánica (Pasquali, 2020).

Para la ANA (2018) en su publicación “Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, establece que la DBO₅ es un parámetro relacionado como aporte de la materia orgánica, mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su

determinación es en base a la oxidación natural de degradación. Asimismo, como antecedente se puede mencionar que, en los monitoreos de calidad del agua de las cuencas hidrográficas del Perú, se han encontrado presencia de este parámetro cuyas concentraciones superan los ECA – Agua (p.26).

Según Sierra (2018), la prueba o datos de DBO se utilizan para:

- Determinar la cantidad de oxígeno requerida para biológicamente estabilizar la materia orgánica. Con este dato se diseñan los equipos de aireación de los procesos de lodos activados.
- Dimensionar las unidades de tratamiento de agua.
- Medir la eficiencia de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales.
- Cobrar tasas retributivas.

Durante el proceso de desoxigenación o estabilización de la materia orgánica, el consumo de oxígeno está escrito por la ecuación:

Materia orgánica + Bacterias + O₂ → CO₂ + H₂O + Nuevos organismos

Para Baird y Cann (2014), la DBO es la capacidad de consumir oxígeno de la materia orgánica y biológica en una muestra de agua natural, que es un proceso catalizado por las bacterias presentes en la misma agua. Se determina experimentalmente midiendo la concentración de oxígeno disuelto al principio y final de un periodo en una muestra sellada de agua sembrada con bacterias y que permanece en la oscuridad a una temperatura constante, que suele ser de 20 ó 25 °C. Se mantiene un pH neutro mediante el uso de un tampón constituido por dos iones del

ácido fosfórico, el ion dihidrógeno fosfato H_2PO_4^- y el ion hidrógeno fosfato HPO_4^{2-} . La DBO es igual a la cantidad de oxígeno consumida como consecuencia de la oxidación de la materia orgánica disuelta en la muestra. Las reacciones de oxidación están catalizadas en la muestra por la acción de microorganismos presentes en el agua natural. Habitualmente, se permite que la reacción prosiga durante cinco días antes de determinar el oxígeno residual. La demanda de oxígeno determinada en este ensayo, a menudo designada como DBO_5 (p. 415).

La DBO media en agua superficial no contaminada en los Estados Unidos es de unos 0,7 miligramos de O_2 por litro, lo cual es considerablemente menor que la solubilidad máxima del O_2 en agua (de $8,7 \text{ mgL}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$). En aguas contaminadas por sustancias orgánicas asociadas a residuos de animales o de alimentos, la demanda de oxígeno supera la máxima solubilidad en el equilibrio de oxígeno disuelto. En estas circunstancias, a menos que el agua esté continuamente aireada, el oxígeno del agua se va agotando con rapidez y los peces que viven en ella se van muriendo (Baird y Cann, 2014, pp. 415-416).

- **Indicadores bacterianos.** Según Lopez et al. (2017), el grupo de coliformes, que incluye el género *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, es relativamente fácil de detectar. En concreto, este grupo incluye todos los aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no formadores de esporas, bacterias en forma de bacilo que producen gas tras la fermentación de lactosa en medios de cultivo establecidos dentro de las 48 horas a $35 \text{ }^\circ\text{C}$. El grupo de coliformes se ha utilizado como el parámetro estandarizado para la evaluación de la

contaminación fecal en el agua de lugares recreativos y agua potable durante la mayor parte del siglo pasado. En la presente investigación se utilizó la técnica de fermentación en tubos múltiples y los resultados del estudio de los tubos y diluciones se comunicaron en términos de Número Más Probable (NPM) de microorganismos existentes. La tasa de mortalidad de bacterias coliformes depende de la cantidad y el tipo de materia orgánica en el agua y su temperatura. Si el agua contiene concentraciones significativas de materia orgánica y tiene una temperatura elevada, las bacterias pueden aumentar su número. Este fenómeno se ha observado en aguas tropicales eutróficas, aguas que reciben efluentes de aguas residuales, sedimentos acuáticos y suelo orgánico enriquecido (es decir, el lodo residual modificado) después de periodos de fuertes lluvias (p.254).

Aunque el total del grupo de coliformes ha servido como el principal indicador de la contaminación del agua por muchos años, muchos de estos organismos no se limitan a las fuentes de materia fecal. Así, se han desarrollado métodos para restringir la enumeración de los coliformes que son claramente de origen fecal, es decir, los coliformes termotolerantes. Estos organismos, que incluyen los géneros *Escherichia* y *Klebsiella*, se diferencian en el laboratorio por su capacidad para fermentar la lactosa con la producción de ácido y gas a 44,5 °C en 24 horas. En general, esta prueba indica la presencia de coliformes fecales, sin que ello distinga entre contaminación humana y animal. La *E. coli* se utiliza comúnmente como indicador, ya que fácilmente se puede distinguir de otros miembros del grupo coliforme fecal y es más probable

que indique la existencia de existencia de contaminación fecal (Lopez et al., 2017, p. 254).

Según Adams et al. (2010), los coliformes termotolerantes o coliformes fecales, en relación con los indicadores de calidad de agua, son las bacterias del grupo de coliformes capaces de formar colonias a 44 °C. Típicamente, la mayoría de las bacterias termotolerantes pertenecen a la especie *Escherichia Coli*, que siempre procede de las heces (p. 47).

Según Vesga et al. (2024), alrededor de 2 000 millones de personas utilizan una fuente de agua contaminada con microorganismos de origen fecal, utilizada tanto para el consumo humano como para el riego de cultivos como por ejemplo hortalizas. Esto supone un riesgo para el consumidor final, ya que estos alimentos se comercializan como productos frescos listos para el consumo directo sin sufrir ningún tratamiento de desinfección o cocción.

Según Sierra (2018), se sabe con certeza que la *Escherichia Coli* (tipo enteropatógeno) produce gastroenteritis y ataca con mayor frecuencia la población infantil y a los ancianos (p. 78).

Para la OMS (2018), la *Escherichia coli* (*E. coli*) es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas. Sin embargo, algunas de ellas, como *E. coli* productora de toxina Shiga, pueden causar graves enfermedades a través de los alimentos. La bacteria se transmite al hombre principalmente por el consumo de alimentos contaminados, como productos de carne picada

cruda o poco cocida, leche cruda, y hortalizas y semillas germinadas crudas contaminadas. La *E. coli* productora de toxina Shiga produce toxinas conocidas como toxinas Shiga por su semejanza con las toxinas producidas por *Shigella dysenteriae*. *E. coli* productora de toxina Shiga puede crecer a temperaturas que oscilan entre 7 °C y 50 °C, con una temperatura óptima de 37 °C. Algunas pueden proliferar en alimentos ácidos, hasta a un pH de 4,4, y en alimentos con una actividad de agua (a_w) mínima de 0,95. Entre los síntomas de la enfermedad causada por *E. coli* productora de toxina Shiga destacan los calambres abdominales y la diarrea, que puede progresar en algunos casos a diarrea sanguinolenta (colitis hemorrágica). También puede haber fiebre y vómitos. La mayoría de los pacientes se recuperan en el término de diez días, pero en un pequeño porcentaje de los casos (especialmente niños pequeños y ancianos) la infección puede conducir a una enfermedad potencialmente mortal, como el síndrome hemolítico urémico (SHU). El SHU se caracteriza por una insuficiencia renal aguda, anemia hemolítica y trombocitopenia (deficiencia de plaquetas). El reservorio de este patógeno es principalmente el ganado bovino. También se consideran reservorios importantes otros rumiantes, como ovejas, cabras y ciervos, y se ha detectado la infección en otros mamíferos (como cerdos, caballos, conejos, perros y gatos) y aves (como pollos y pavos) (OMS 2018).

Para la ANA (2018) en su publicación “Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, la presencia de coliformes

termotolerantes en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen puede deberse a los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores, puede ser por la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos (p. 26).

Por último, es importante considerar lo que señala Cunningham (2023), si hay alguna bacteria coliforme en una muestra de agua, se supone que también hay patógenos infecciosos, y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) considera que el agua no es apta para el consumo humano (p. 286).

- **Potencial de hidrógeno (pH).** El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas y básicas del agua. Por convención está definido como:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. Un pH de 7 indica una solución neutra, un pH < 7 medio ácido y un pH > 7 medio básico, el pH en el agua natural depende la concentración de CO₂, así, por ejemplo, las aguas con pH entre 6 a 7, permiten el desarrollo de una gran biomasa (Castro, 2021, p. 45). El pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pH-metro) (Sierra, 2018, pp. 59-60).

El pH y la concentración de los principales iones en la mayoría de los sistemas acuáticos naturales están controlados por la disolución de dióxido de carbono atmosférico y por los iones carbonatos presentes en la fase sólida del suelo. (Baird y Cann, 2014, p. 412).

Para la ANA (2018) en su publicación “Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, el pH en las cuencas hidrográficas donde escurren aguas naturales sin actividad antrópica, en cierta forma está determinado por la geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. El pH en la mayoría de las aguas varía entre 6,5 a 8,5 (turbulencia y aireación). La evolución química de muchos metales, su solubilidad del agua y biodisponibilidad están determinadas por el pH. Por tanto, es un parámetro de mucha importancia en la evaluación de la calidad del agua (p. 29), por tanto, se hace necesario establecer las siguientes definiciones:

Acidez: Generalmente se considera que todas las aguas tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO_2 o la presencia de un ácido fuerte (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl). El CO_2 es un componente normal de las aguas naturales. Entra al agua por absorción de la atmósfera. También, puede presentarse debido a que el CO_2 se produce en la descomposición biológica de la materia orgánica. Se conoce con el nombre de acidez mineral a la ocasionada por la presencia en el agua de ácidos fuertes. Este tipo de acidez se presenta en el agua debido a la contaminación industrial. Las aguas que contienen acidez, sin importar el tipo, son corrosivas. Por lo tanto, aguas con acidez por encima de los valores permisibles deben ser tratadas (Sierra, 2018, pp. 60-61).

Alcalinidad. La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes (por ejemplo, NaOH). La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones, $[\text{OH}^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$. En las aguas naturales la alcalinidad se debe a la presencia de $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$ los cuales ingresan al agua debido a la acción del CO_2 sobre los materiales naturales del suelo. La alcalinidad también puede ser ocasionada por la presencia de bases fuertes en el agua. Estas bases llegan al agua, debido principalmente a la contaminación industrial. Por ejemplo, la soda cáustica (NaOH) es una base fuerte que la industria del papel vierte comúnmente a los ríos (Sierra, 2018, pp. 61-62).

Según APHA (2017), la medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizados en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. Las aguas naturales tienen normalmente valores de pH en la zona de 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalino térreos (p. 4-107) y, de acuerdo con lo señalado por Navas (2017), si el pH es bajo (ácido), el agua puede ser agresiva y disolver metales pesados; un pH alto (básico) puede comprometer la desinfección (p. 66).

- **Iones nitratos (NO_3)¹⁻**. El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Se forman en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas. Es importante considerar los nitratos en el tratamiento de aguas porque concentraciones mayores a 45 mg/L, se ha comprobado que producen una enfermedad en los niños llamada metahemoglobinemia y, según Marín (2019), en la generación de nitrosaminas, así como la aparición de diversos tipos de cánceres gástricos. Cuando existen actividades antrópicas, las aguas superficiales pueden tener concentraciones hasta 5 mg (NO_3)¹⁻/L, pero normalmente son menores a 1 mg (NO_3)¹⁻/L. Concentraciones por encima de los 5 mg (NO_3)¹⁻/L usualmente indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o escorrentía (Sierra, 2018, p. 73).

Para Marín (2019), la presencia de iones nitratos, (NO_3)¹⁻, en agua procede de la disolución de rocas y minerales (muy frecuentes), de la descomposición de materias vegetales y animales, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras en donde se utilizan abonos que los contienen profusamente como componente en sus formulaciones (pp. 29-30).

Según INEGI (2019), la presencia de nitratos en el agua es el resultado de procesos naturales como la precipitación, el intemperismo de minerales y descomposición de la materia orgánica, además de actividades humanas que incluyen la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con

nitrógeno, deforestación y el cambio de materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (p. 109).

- **Iones Fosfatos (PO_4^{3-})**. Según Marín (2019), el fósforo, elemento esencial para la vida, al igual que carbono, nitrógeno y azufre, está implicado en un complejo ciclo bioquímico que implica el tránsito del elemento a través de una serie de estados inorgánicos y orgánicos que lo transforman, fundamentalmente vía microbiana. El fósforo en el agua puede tener una procedencia triple:
 - “disolución” de rocas y minerales que lo contienen.
 - “lavado” de suelos en los que se encuentran como resto de actividades ganaderas o agrícolas;
 - “aguas residuales domésticas” vertidas a las aguas naturales. A este particular, se considera los detergentes utilizados en limpieza doméstica, aportan con el 50% del fósforo presente en aguas contaminadas por vertidos urbanos (p. 30).

Para la ANA (2018) en su publicación “Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, el fósforo ingresa a las aguas superficiales por los vertimientos de saneamiento, es el segundo principal nutriente y responsable de eutrofización de los cuerpos de agua superficial. Todos estos tipos de fósforo ingresan a las aguas naturales superficiales a través de vertidos residuales domésticos y por escorrentía de la actividad agrícola y debido a su capacidad como nutriente, es la responsable del crecimiento de las algas en los cuerpos naturales de

agua; además cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, pueden provocar la contaminación de agua subterránea (p. 28-29).

Los ortofosfatos (PO_4)³⁻ son la forma más importante de fósforo en el agua debido a que se encuentran disueltos en el agua y de esta manera son aprovechados por las plantas (Sierra, 2018, p. 74).

Como señala Baird y Cann (2014), la presencia de un exceso de iones fosfato en las aguas naturales tienen un efecto devastador sobre la ecología acuática debido a la hiperfertilización de la vida vegetal. En un principio, una de las fuentes mayores de fosfato como contaminante eran los detergentes (p. 503).

Según INEGI (2019), señala que el fósforo elemental no se encuentra habitualmente en el medio natural, pero los ortofosfatos, pirofosfatos, metafosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicamente unidos sí se detectan en aguas naturales y residuales, en aguas no contaminadas puede llegar a una concentración de 0,05 mg/L; concentraciones mayores se deben a la incorporación de aguas residuales o tratadas que estimulan el crecimiento de macro y microorganismos provocando la eutrofización (p. 107).

- **Sólidos Totales disueltos (STD).** Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por la evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiples, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales (Rigola, 1990, p. 32).

Según Ramos et al. (2003) los sólidos disueltos o filtrables, son componentes de los totales; comprenden partículas del tamaño de los iones y de los coloides, cuya magnitud oscila entre 0,001 y una micra. En gran parte de la literatura referente a calidad de agua, los sólidos que pasa a través de un filtro reciben el nombre de sólidos disueltos (p. 85).

2.1.11 Ley General del ambiente (Ley N° 28611), publicada el 15 de octubre de 2005.

El problema del agua ha presentado singular importancia en los tiempos presentes, pues en años anteriores se consideraba un recurso inagotable, del cual no se podía establecer ningún derecho. A pesar de ser un recurso fundamental para la vida, es continuamente contaminada por el hombre, arrojando sus desechos en ella, los cuales son llevados a los ríos y mares.

Dada esta contaminación indiscriminada, en los últimos años se ha tomado conciencia del problema del agua, a raíz de los estudios que se han realizado sobre la proyección del crecimiento de la población humana y las necesidades que van a tener que cubrirse, entre las cuales la más importante es el agua.

La Ley General del Ambiente, en su Capítulo 2: Política Nacional Del Ambiente, en su Artículo 9 manifiesta que el objetivo principal de esta ley es: “Mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona”.

2.1.12 Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)

La presente ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. (ANA, 2019, p.11).

La presente ley establece que el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

En el Artículo III sobre Principios. Establece los principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos: El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos. El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico (Ley N° 29338, p. 11).

Además, establece que La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el ente rector y la máxima autoridad técnico - normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. Es responsable del funcionamiento de dicho sistema en el marco de lo establecido en la Ley (p. 16).

2.1.13 Contaminación del Agua

La contaminación del agua es una alteración de su calidad que provoca que su utilización sea peligrosa para determinados usos y que perturba los ecosistemas acuáticos. Las diferentes fuentes de contaminación son:

- La contaminación química, que puede ser crónica, accidental o difusa. Tiene orígenes diversos debidos al deficiente funcionamiento de algunas estaciones depuradoras de aguas residuales, la carencia de sistemas de saneamiento en

algunas zonas, los vertidos accidentales o ilegales que pueden afectar a las aguas superficiales o a las aguas subterráneas por infiltración, etc.

- Virus y bacterias patógenos provenientes de los residuos orgánicos de animales y de seres humanos vertidos al río o al suelo que de forma natural pueden depurarse pero que, si llegan rápidamente al siguiente punto de captación, pueden provocar una contaminación microbiológica.
- La contaminación agrícola producida por la concentración de la ganadería, los abonos químicos (nitratos y fosfatos), los herbicidas, los insecticidas y otros productos fitosanitarios.
- La contaminación doméstica de las aguas negras y grises de una vivienda o comercio, así como las aguas pluviales.
- Vertido de productos contaminantes en accidentes de circulación, por dispersión en el medio de gases y líquidos tóxicos, a causa de un deficiente funcionamiento de las depuradoras de aguas residuales, etc. (Agencia Catalana del Agua 2000).

Según la OMS (2018), el agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud.

Según Larios et al. (2016), las zonas con inadecuado abastecimiento de agua sufren por lo general de enfermedades como el cólera, la hepatitis, la disentería, gastroenterocolitis, etc.; por lo que el tratamiento de aguas residuales requiere del diseño de políticas de saneamiento ambiental, más aun teniendo en cuenta que en las ciudades, se generan aguas residuales originadas por uso doméstico, uso industrial y uso residual agrícola, para lo cual se requieren plantas de tratamiento de aguas

residuales especialmente en las ciudades, dado el alto nivel de concentración urbana (p. 12) y que, según el Sistema de Información Ambiental Regional – SIAR, Cajamarca no cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales.

Cada día, la severa y durísima crisis sanitaria del Covid-19 nos enseña que no podemos relegar el agua. Es fundamental para todas las actividades económicas y vital para la salud de los ecosistemas y la salud humana. Así lo ha subrayado en 2019 el importante Informe de Evaluación Global de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) (Concytec, 2021, p. 7). Algunos de los desafíos del agua señalados por organismos especializados son los siguientes:

- Alrededor de 2 200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura (Unicef, 2019).
- Más de la mitad de la población - 4 200 millones de personas - carece de servicios de saneamiento gestionados de forma segura (Unicef, 2019).
- 297 000 niños menores de cinco años mueren cada año debido a enfermedades diarreicas causadas por las malas condiciones sanitarias o agua no potable (Unicef, 2019).

2.2 Definición de términos básicos

- **Aguas residuales.** Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014, p. 2).
- **Calor específico.** Es la cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de sustancia (Chang, 2020, p. 516).
- **Calidad de agua.** Según Water Quality Assessment citado por Campos (2003), es el grupo de concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición y estado de la biota encontrada en el cuerpo de agua.
- **Contaminación del agua.** Según Gesamp (1988), citado por Campos (2003), es la introducción por el ser humano y sus actividades, directa o indirectamente de sustancias o energía, que ad por resultado efectos negativos como: i) daño de recursos vivos, ii) daño a la salud humana, iii) impedimento de la realización de actividades acuáticas, como pesca, deportes acuáticos o amenidades en general, y iv) impedimento del uso del agua para actividades agrícolas, industriales, domésticas.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (*Biochemical Oxygen Demand, BOD, por sus siglas en inglés*).** Una medida de la cantidad de oxígeno consumida en los procesos biológicos que descomponen materia orgánica en agua. A mayor cantidad de BOD, mayor grado de contaminación (EPA, 2024).
- ***Escherichia coli* y bacterias coliformes termotolerantes.** Son las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C (BVSDE.PAHO, 2006).
- **Fósforo.** Un elemento químico esencial en alimentos que puede contribuir a la eutrofización de lagos y otros cuerpos de agua. Un aumento en niveles de fósforo es

resultado de la descarga de materiales que contienen fósforo en aguas de la superficie (EPA, 2024).

- **Índice de la calidad de agua.** El índice de la calidad del agua agrupa parámetros físicos, químicos y bacteriológicos más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua (León 1991).
- **Método de los tubos múltiples.** En el método de los tubos múltiples, se añaden diferentes cantidades de agua a tubos que contienen un medio de cultivo adecuado. Las bacterias presentes en el agua se reproducen y, a partir del número de tubos inoculados y del número de tubos con reacción positiva, puede determinarse estadísticamente el número más probable (NMP) de bacterias presentes en la muestra original de agua (OPS, 1988).
- **Nefelométrico.** Método para medir la turbiedad en una muestra de agua al pasar luz a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es desviada (EPA, 2024).
- **Nitrato (*Nitrate*).** Un compuesto que contiene nitrógeno que puede existir en la atmósfera o disuelto en agua y que puede tener efectos dañinos en los seres humanos y animales. Los nitratos se pueden encontrar en sistemas sépticos, lugares donde se alimentan animales, fertilizantes agrícolas, abono, aguas de desperdicios industriales, vertederos sanitarios y residuos sólidos (EPA, 2024).
- **Oxígeno disuelto (OD).** El oxígeno que se encuentra libre y disponible en el agua; es esencial para los peces y otros organismos acuáticos, así como para la prevención de olores. El nivel de oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la capacidad de un cuerpo de agua en sostener la vida acuática deseable (EPA, 2024).

- **Potencial de hidrógeno (pH).** Soren Sorensen definió el pH como el $-\log[H^+]$; es el factor de “intensidad” de la alcalinidad o acidez. (APHA, 2017, p. 4-106). Según Navas (2017), se denomina así a la concentración de ion hidrógeno en el agua.
- **Sólidos disueltos.** Materia orgánica e inorgánica desintegrada que se encuentra en agua. En cantidades excesivas, convierten el agua en no apta para el consumo o para aplicarla a procesos industriales (EPA, 2024).
- **Sólidos disueltos totales (*Total Dissolved Solids, TDS, por sus siglas en inglés*).** Todo material que atraviesa el filtro de vidrio de río estándar, conocido ahora como el residuo filtrable total. Este término se usa para representar la salinidad (EPA, 2024).
- **Temperatura.** La temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y, en general, a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiano (Marín, 2019, pp. 10-11).
- **Turbiedad.** Nebulosidad causada en el agua por la presencia de partículas y contaminantes. Condición nebulosa en agua debido al cieno o material orgánico suspendido en ella (EPA, 2024).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica del Ámbito de Estudio

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Mashcón ubicado en la ciudad de Cajamarca, en la sierra norte del Perú. La cuenca del río Mashcón tiene un área aproximada de 312,07 km², nace de la unión de dos de sus afluentes, los ríos Porcón y Grande, en el centro poblado de Huambocancha Baja, hasta su confluencia con el río Chonta, que en adelante toma el nombre de río Cajamarquino (Inrena, 2007).

Los puntos de muestreo determinados en las aguas del río Mashcón, fueron seleccionados bajo el criterio de representatividad, accesibilidad y grado de conservación. Se consideró tres puntos para el muestreo. El primer punto de muestreo se encuentra a 200 m aguas abajo de la unión de ríos Porcón y Grande, en el sector de Huambocancha Baja; el segundo punto de muestreo se encuentra ubicado en el sector La Molina y el último punto de muestreo se encuentra ubicado a 400 m aguas abajo del puente El Porongo, en el centro poblado Bella Unión, carretera al distrito de Baños del Inca. En la tabla 5 y figura 2 se describen la localización de cada punto de muestreo.

Tabla 5

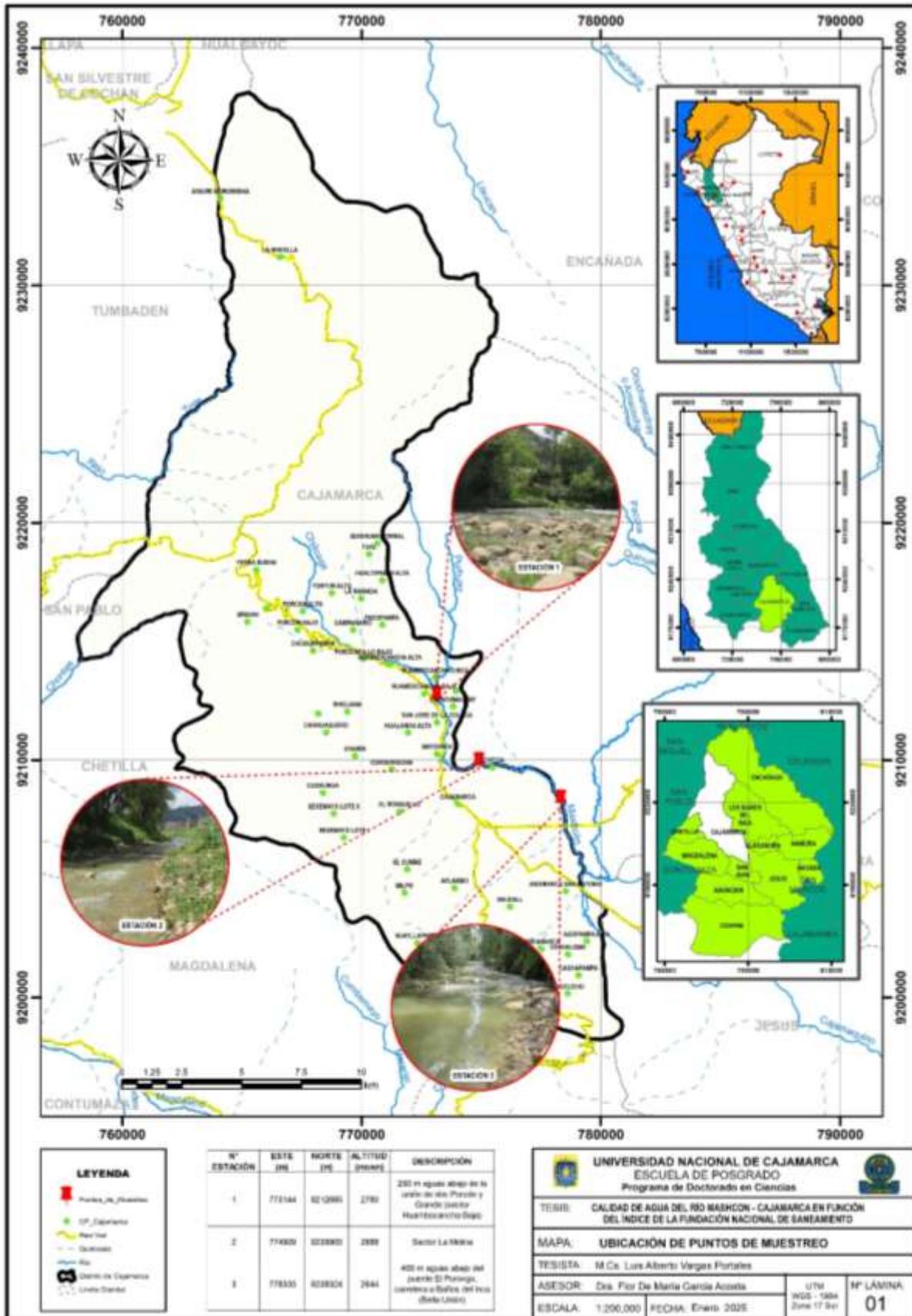
Localización de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Este	Norte	Altura (msnm)	Descripción
RMash1	773144	9212695	2780	200 m aguas abajo de la unión de ríos Porcón y Grande (sector Huambocancha Baja)
Rmash2	774909	9209905	2688	Sector La Molina
RMash3	778335	9208324	2644	400 m aguas abajo del puente El Porongo, carretera a Baños del Inca (Bella Unión)

Nota. Los puntos de muestreo se consideraron en base a la accesibilidad y su relevancia

Figura 2

Ubicación geográfica de los tres puntos de muestreo



3.2 Población y muestra

La población comprendió los cuerpos de agua que forman la cuenca del río Mashcón; siendo parte de la muestra, el agua que recorre los sectores Huambocancha Baja, Mayopata – La Molina y el centro poblado de Bella Unión de la ciudad de Cajamarca.

3.3 Método

La presente investigación es básica de alcance descriptivo, de diseño no experimental y longitudinal, con trabajo de campo que ha permitido analizar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del río Mashcón entre los sectores Huambocancha Baja y Bella Unión. Además, se clasificó el tipo de agua en función del rango de calidad del agua según ICA-NSF; así como la determinación de la variación espacio – temporal de los índices de calidad de agua (ICA) a lo largo del curso del río. Posteriormente se comparó con la clasificación contenida en los estándares de Calidad Ambiental propuesto por el Ministerio del Ambiente.

Se seleccionaron tres estaciones de muestreo que comprende el curso del río Mashcón. De acuerdo con el reporte hidrológico se realizaron cuatro muestreos, en los meses de enero y junio del año 2020, siendo épocas secas; luego se realizó en el mes de octubre del año 2020 que fue de transición lluviosa, es decir de mediana intensidad lluviosa; y por último en el mes de marzo del año 2021 siendo la época de mayor intensidad lluviosa.

La toma, conservación, preservación de las muestras se realizaron teniendo en cuenta las recomendaciones del APHA-AWWA (2017) y el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Los parámetros que se analizaron in situ fueron: temperatura (°C), potencial hidrógeno (pH), mientras que el resto de las mediciones fisicoquímicas y bacteriológicas se realizaron en el Laboratorio Regional del Agua, laboratorio acreditado por el Instituto

Nacional de Calidad (INACAL), mediante la norma ISO/IEC 17025:2006, siguiendo los protocolos referenciados y los métodos descritos en la tabla 6.

Tabla 6

Parámetros seleccionados

N°	PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODOS
1	Temperatura	°C	Termometría
2	Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
3	Sólidos Totales disueltos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017: Solids. Total Solids Dried at 103–105°C
4	Oxígeno Disuelto (OD)	OD en % saturación	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO ₅)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
7	pH	(en unidades de pH)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+.B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
8	Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
9	Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

Nota. Los métodos descritos corresponden a los utilizados por el Laboratorio Regional del Agua, así como a los parámetros de la NSF-WQI

Los métodos utilizados para evaluar los parámetros seleccionados para el ICA-NSF se describen a continuación:

- **Temperatura.** La medida de la temperatura se realizó in situ utilizando un termómetro Celsius de mercurio que tuvo como mínimo una escala con marca de 0,1 °C sobre el tubo capilar.
- **Turbidez.** La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se emplea el polímero formacina. El instrumento utilizado es un turbidímetro, consistente en un nefelómetro en una fuente de luz para iluminar la muestra, y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de luz incidente. Los resultados obtenidos se expresan en unidades nefelométricas de turbidez, expresada habitualmente con el acrónimo NTU del inglés Nephelometric Turbidity Unit (APHA, 2017, p. 2-14)
- **Sólidos Totales Disueltos.** Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, posteriormente, el filtrado se evapora hasta que se seque en una placa pesada y secada a peso constante a 180 °C. El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales disueltos (APHA, 2017, p. 2-80).
- **Oxígeno disuelto (OD).** El método yodométrico es el procedimiento titulométrico más exacto y fiable para analizar oxígeno disuelto. Se basa en la adición de solución de manganeso divalente (sulfato manganoso), seguido de álcali fuerte (mezcla fuertemente básica de azida de sodio y yoduro de potasio), a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganoso divalente a hidróxidos con mayor estado de oxidación. En presencia con iones yoduro, en solución ácida (con ácido sulfúrico), el manganeso oxidado revierte al estado divalente, con liberación de

yodo equivalente al contenido original de oxígeno disuelto. Entonces se valora el yodo con una solución patrón de tiosulfato. El punto final de la titulación se puede detectar visualmente, con un indicador de almidón (APHA, 2017, p. 4-169).

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅)***. La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba empírica estandarizada de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y contaminadas. La prueba mide el oxígeno utilizado, durante el periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica y el oxígeno utilizado para oxidar la materia orgánica, como los sulfuros y el ion ferroso. Puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno. El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el DBO₅ se calcula mediante la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el final (APHA, 2017, p. 5-4).
- ***Coliformes termotolerantes***. Se utilizó la técnica de fermentación en tubos múltiples y los resultados del estudio de los tubos y diluciones se comunicaron en términos de Número Más Probable (NPM) de microorganismos existentes. Este número, basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra. La prueba para coliformes fecales permite diferenciar entre los coliformes de origen fecal (intestino de los animales de sangre caliente) y los procedentes de otras fuentes, se utilizó medio EC (constituido por triptosa, lactosa, mezcla de sales biliares, fosfato de hidrógeno dipotasio, fosfato de dihidrógeno potasio, cloruro de sodio y agua destilada), se llevó a incubación en baño María a 44,5 °C durante 24 horas, se consideró como reacción positiva la aparición de gas en un

medio EC a las 24 horas o menos de la incubación, luego se calculó el NMP en los tubos con medio EC (APHA, 2017, pp. 9-78 – 9-88).

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**. Soren Sorensen definió el pH como el $-\log[H^+]$; es el factor de “intensidad” de la alcalinidad o acidez. El instrumento utilizado para su determinación fue un pH-metro que ha sido calibrado con soluciones tampones de acuerdo con la normativa vigente. El método electrométrico del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia; el resultado se expresó en unidades de pH (APHA, 2017, p. 4-107).
- **Iones Nitratos (NO_3)¹⁻**. Se utilizó el método EPA para determinar nitratos. Este método cubre la determinación de una serie aniones inorgánicos en agua reactiva, agua superficial, agua subterránea y agua potable terminada. Como resultado de los diferentes volúmenes de inyección especificados, estos aniones se dividen entre los aniones comunes enumerados en la Parte A y los subproductos de desinfección inorgánicos enumerados en la Parte B. Estos diferentes volúmenes de inyección son necesarios para compensar las concentraciones relativas de estos aniones en el agua potable y mantener una buena forma de pico cromatográfico en todo el rango dinámico esperado del detector. El bromuro se incluye tanto en la Parte A, debido a su importancia como anión común, como en la Parte B debido a su papel fundamental como precursor de un subproducto de desinfección. Se introduce un pequeño volumen de muestra, 10 μ L, en un cromatógrafo iónico, el ion nitrato se separa y se mide mediante un sistema compuesto por una columna de protección, una columna analítica, un dispositivo supresor y un detector de conductividad; los resultados se comunican en unidades de mg (NO_3)¹⁻/L (EPA, 1997).

- ***Iones fosfatos (PO_4)³⁻***. Se utilizó el método EPA para determinar fosfatos. Este método cubre la determinación de una serie aniones inorgánicos en agua reactiva, agua superficial, agua subterránea y agua potable terminada. Como resultado de los diferentes volúmenes de inyección especificados, estos aniones se dividen entre los aniones comunes enumerados en la Parte A y los subproductos de desinfección inorgánicos enumerados en la Parte B. Estos diferentes volúmenes de inyección son necesarios para compensar las concentraciones relativas de estos aniones en el agua potable y mantener una buena forma de pico cromatográfico en todo el rango dinámico esperado del detector. El bromuro se incluye tanto en la Parte A, debido a su importancia como anión común, como en la Parte B debido a su papel fundamental como precursor de un subproducto de desinfección. Se introduce un pequeño volumen de muestra, 10 μ L, en un cromatógrafo iónico, el ion nitrato se separa y se mide mediante un sistema compuesto por una columna de protección, una columna analítica, un dispositivo supresor y un detector de conductividad; los resultados se comunican en unidades de mg (PO_4)³⁻/L (EPA, 1997).

Para la interpretación de los datos fisicoquímicos y bacteriológicos se empleó el índice de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF). A estos índices se les asignaron pesos ponderados para cada una de las variables, mostrados en la tabla 7, en función de la preponderancia que presenta cada parámetro.

Tabla 7

Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF

Parámetro	Ponderación
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales disueltos	0,07
Oxígeno disuelto (OD)	0,17
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO ₅)	0,11
Coliformes termotolerantes	0,16
pH	0,11
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	0,10
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	0,10

Nota. Parámetros considerados por NSF-WQI

La expresión matemática del índice NSF se fundamenta en la siguiente ecuación:

$$INSF = \sum_{i=1}^9 SI_i * Wi$$

Donde, SI es el subíndice de la variable i, y Wi es el peso ponderado del subíndice de los parámetros establecidos en la tabla 7.

El valor o subíndice en el análisis NSF-WQI se determinó utilizando las curvas de valoración de calidad de agua para cada parámetro, como se muestra en las figuras 3 y 4, para oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes, los cuales tienen la mayor ponderación. Las curvas de valoración de calidad de agua correspondientes a los otros parámetros se adjuntan en el apéndice.

Figura 3

Curva de valoración de la calidad de agua en función del % de saturación del oxígeno disuelto

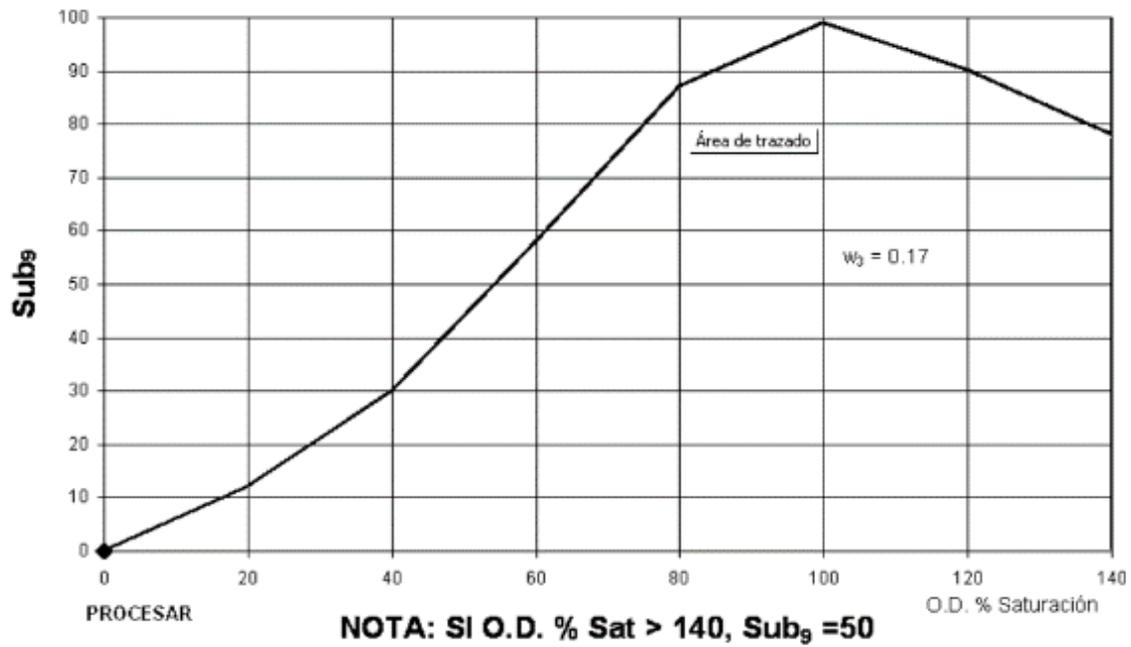
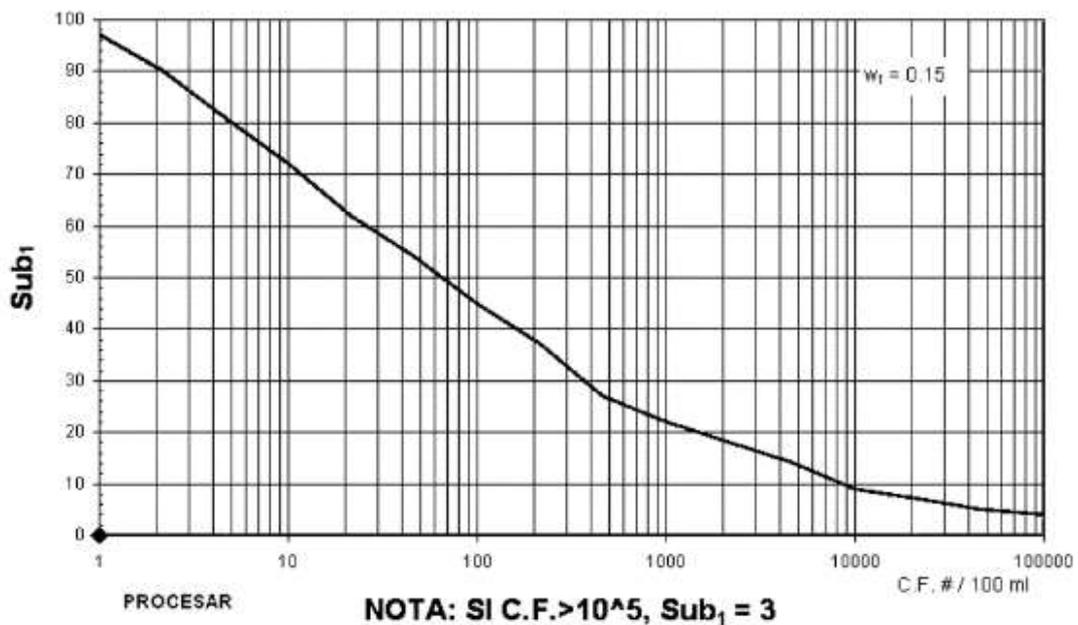


Figura 4

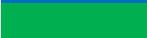
Curva de valoración de la calidad de agua en función de Coliformes



Los datos fueron analizados a través de procedimientos estadísticos descriptivos e inferenciales y se clasificaron de acuerdo con los rangos establecidos por el ICA-NSF, como se describe en la tabla 8.

Tabla 8

Rango de calidad del agua según ICA-NSF

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Nota. Los valores y las categorías para evaluar calidad del agua son establecidos por NSF-WQI

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo los siguientes resultados:

4.1 Primer muestreo realizado el 12 de enero de 2020

Tabla 9

Punto de muestreo 1 RMash1 – Sector Huambocancha Baja

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	15 ($\Delta 2$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	9,03	
Sólidos totales disueltos	mg/L	524,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,9	4,5
DBO ₅	mg/L	2,5	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1 600	1 000
pH	en unidades de pH	5,78	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	8,755	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados fueron obtenidos durante la época de estiaje y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con lo observado en la tabla 9, concerniente al punto de muestro 1 (RMash1) ubicado en el sector de Huambocancha Baja, se puede apreciar que los resultados de los parámetros correspondientes a la temperatura, oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se encontraron dentro de los valores de los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, En cuanto a los valores obtenidos del pH, los coliformes termotolerantes y los iones nitratos, los resultados sobrepasaron los valores establecidos en el ECA-Agua, categoría 3, subcategorías D1 y D2, que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. Los resultados concuerdan con lo que señala Roohollah

(2019), mientras el río se mueve a través de la cuenca, diferentes tipos de contaminación de fuentes no puntuales deterioran la calidad del agua del río, incluidas las actividades agrícolas, las áreas residenciales y las actividades industriales.

Tabla 10

Punto de muestreo 2 RMash2 – Sector La Molina

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	17 (Δ 2)	Δ 3
Turbidez	NTU	9,97	
Sólidos totales disueltos	mg/L	526,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	5,9	4,5
DBO ₅	mg/L	2,5	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	3 500	1 000
pH	en unidades de pH	6,56	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	8,846	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados fueron obtenidos durante la época de estiaje y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 10, correspondientes al punto de muestreo 2 (RMash2) ubicado en el sector La Molina, se puede apreciar que los valores de los parámetros de temperatura, DBO₅, pH, oxígeno disuelto (OD) se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. Mientras que, en cuanto a los coliformes termotolerantes y los iones nitratos (NO₃)¹⁻, los resultados sobrepasaron los valores establecidos en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. Los sistemas de aguas superficiales son propensos a la contaminación por diversos contaminantes de numerosas fuentes y como señala Sierra (2018), cuando existen actividades antrópicas, las aguas superficiales

pueden tener concentraciones hasta 5 mg (NO₃)¹⁻/L, pero normalmente son menores a 1 mg (NO₃)¹⁻/L. Concentraciones por encima de los 5 mg (NO₃)¹⁻/L usualmente indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o escorrentía.

Tabla 11

Punto de muestreo 3 (RMash3) – Sector Bella Unión

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	18 (Δ2)	Δ3
Turbidez	NTU	8,14	
Sólidos totales	mg/L	516,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	3,2	4,5
DBO ₅	mg/L	6,87	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	5 400	1 000
pH	en unidades de pH	6,77	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	7,354	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados fueron obtenidos durante la época de estiaje y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con lo observado en la tabla 11, que corresponde al sector Bella Unión, se puede apreciar que los valores de los parámetros de temperatura, DBO₅ y pH se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. Mientras que, en cuanto a los resultados obtenidos de los coliformes termotolerantes, oxígeno disuelto (OD) y los iones nitratos (NO₃)¹⁻ sobrepasan, en gran medida, con los valores establecidos en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. En función de lo observado, y de acuerdo con Roohollah (2019), se evidenció que los parámetros de

calidad del agua, (por ejemplo, los coliformes termotolerantes) especialmente en las últimas estaciones, son considerablemente más altas que en las estaciones aguas arriba. En general, la descarga de diversos efluentes municipales, industriales y agrícolas en el sistema de agua, y también el uso generalizado de letrinas en el área de estudio, hacen que la alta concentración de este parámetro sea un problema común en los recursos hídricos superficiales

4.2 Segundo muestreo realizado el 15 de junio de 2020

Tabla 12

Punto de muestreo 1 RMash1 - Sector Huambocancha Baja

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	14 ($\Delta 2$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	6,06	
Sólidos totales disueltos	mg/L	626,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,530	4,5
DBO ₅	mg/L	2,5	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	280	1 000
pH	en unidades de pH	7,56	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	4,697	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de estiaje y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con lo observado en la tabla 12, en el sector Huambocancha Baja, se puede apreciar que los valores de los parámetros correspondientes a la temperatura, DBO₅, pH, oxígeno disuelto (OD) y coliformes termotolerantes se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. El resultado

obtenido para iones nitratos (NO_3)¹⁻ sobrepasa con lo establecido en la categoría 3, que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. De acuerdo con esto, y según lo señalado por Mupenzi (2017), se puede afirmar que las actividades agrícolas constituyen una fuente importante de contaminación de los ríos debido a la escorrentía de nutrientes y diversas sustancias nocivas derivadas del uso de fertilizantes.

Tabla 13

Punto de muestreo 2 RMash2 - Sector La Molina

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	14 ($\Delta 3$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	1,66	
Sólidos totales disueltos	mg/L	643,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	7,220	4,5
DBO ₅	mg/L	2,5	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	540	1 000
pH	en unidades de pH	8,08	6,5 – 8,5
Nitratos (NO_3) ¹⁻	mg/L	3,553	1,0
Fosfatos (PO_4) ³	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de estiaje y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 13, en el sector La Molina, se puede apreciar que los valores de los parámetros correspondientes a la temperatura, DBO₅, oxígeno disuelto (OD), pH y coliformes termotolerantes se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua; mientras a los iones nitratos (NO_3)¹⁻ sobrepasa los valores establecidos en la categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales; esto demuestra que, como señala Singh et al. (2022), los principales contribuyentes a la contaminación de las aguas

superficiales se incluyen los vertidos de efluentes industriales, la eliminación de desechos agrícolas y la urbanización extensiva.

Tabla 14

Punto de muestreo 3 RMash3 – Sector Bella Unión

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	15 ($\Delta 3$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	21,35	
Sólidos totales	mg/L	559,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	0,4	4,5
DBO ₅	mg/L	53,1	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	3 500	1 000
pH	en unidades de pH	7,28	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	0,063	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	2,392	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de estiaje y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con lo descrito en tabla 14, en el sector Bella Unión, se puede apreciar que solo los valores de los parámetros correspondientes a la temperatura y pH se encuentran dentro de los establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que la DBO₅, los coliformes termotolerantes, iones nitratos (NO₃)¹⁻ y oxígeno disuelto (OD) sobrepasaron lo establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales; siendo el sector que presenta mayor deterioro de la calidad de sus aguas. Se puede evidenciar que, como señala Pradana y García (2019), altos valores de DBO implicarían disminución de oxígeno disuelto (OD), presencia de materia orgánica descomponible, lo que degrada la calidad del agua y sus usos potenciales. Otro factor clave es la temperatura, como señala Pradana y García (2019), un aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases, reduciendo la cantidad de oxígeno

disuelto (OD) y aumenta la velocidad de las reacciones químicas y biológicas que se producen en el medio acuático.

4.3 Tercer muestreo realizado el 16 de octubre de 2020

Tabla 15

Punto de muestreo 1 RMash1 – Sector Huambocancha Baja

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	14 ($\Delta 2$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	116	
Sólidos totales	mg/L	614,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,565	4,5
DBO ₅	mg/L	4,5	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1 540	1 000
pH	en unidades de pH	7,57	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	3,360	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de avenida y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con los resultados observados en la tabla 15, que corresponde al sector La Molina, se evidencia que los valores de temperatura, DBO₅, pH y oxígeno disuelto (OD) se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que los coliformes termotolerantes y los iones nitratos (NO₃)¹⁻ sobrepasaron con lo establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. Considerando que, al ser una época de avenida, la turbidez es un indicador importante de la calidad del agua y de acuerdo con el estándar de NESREA para aguas superficiales (5 NTU), se observa niveles elevados

de este parámetro que pueden perjudicar los ecosistemas acuáticos, dificultar la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis y comprometer los procesos de tratamiento del agua.

Tabla 16

Punto de muestreo 2 RMash2 – Sector La Molina

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	14 (Δ 2)	Δ 3
Turbidez	NTU	117,0	
Sólidos totales	mg/L	658,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,90	4,5
DBO ₅	mg/L	4,9	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	7 270	1 000
pH	en unidades de pH	7,93	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	2,735	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de avenida y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 16, que corresponde al sector La Molina, se puede apreciar que los valores de los parámetros de temperatura, DBO₅, pH y oxígeno disuelto (OD) se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que los coliformes termotolerantes y los iones nitratos (NO₃)¹⁻ sobrepasaron con lo establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales, esto puede atribuirse a los aportes de las descargas de efluentes, fuentes agrícolas, como la aplicación de fertilizantes y los desechos del ganado, así como la erosión del suelo.

Tabla 17*Punto de muestreo 3 RMash3 – Sector Bella Unión*

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	15 ($\Delta 1$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	104,42	
Sólidos totales	mg/L	567,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	3,5	4,5
DBO ₅	mg/L	29,8	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	86 750	1 000
pH	en unidades de pH	7,50	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	0,887	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	1,212	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de avenida y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 17, que corresponden al sector Bella Unión, se puede apreciar que los valores de los parámetros de la temperatura, pH y iones nitratos (NO₃)¹⁻ se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que la DBO₅, oxígeno disuelto (OD) y los coliformes termotolerantes el resultado sobrepasaron notoriamente con lo establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales, evidenciándose el deterioro de la calidad del agua en dicho sector. Se puede evidenciar que, como señala Pradana y Garcia (2019), altos valores de DBO implicarían disminución de oxígeno disuelto (OD), presencia de materia orgánica descomponible, lo que degrada la calidad del agua y sus usos potenciales.

4.4 Cuarto muestreo 4 realizado el 12 de marzo de 2021

Tabla 18

Punto de muestreo 1 RMash1 – Sector Huambocancha Baja

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	13 (Δ 2)	Δ 3
Turbidez	NTU	226,0	
Sólidos totales	mg/L	602,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,9	4,5
DBO ₅	mg/L	6,4	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2 800	1 000
pH	en unidades de pH	7,58	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	2,024	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de avenida y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con los resultados en la tabla 18, que corresponde al Sector de Huambocancha Baja, se puede apreciar que los valores de los parámetros de temperatura, la DBO₅, pH y oxígeno disuelto (OD) se encuentran dentro de lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que los resultados de los parámetros de coliformes termotolerantes y los iones nitratos (NO₃)¹⁻ sobrepasaron lo establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. Con respecto a la turbidez y de acuerdo con el estándar de NESREA para aguas superficiales (5 NTU), se observa niveles elevados de este parámetro que pueden perjudicar los ecosistemas acuáticos, dificultar la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis y comprometer los procesos de tratamiento del agua, esto se debe a que la turbidez suele evolucionar en el mismo sentido al del aporte de

aguas de escorrentías al medio hídrico, a su vez provocada por la existencia de precipitaciones, especialmente si estas son de carácter torrencial o se producen en terrenos susceptibles de una fácil erosión (Marín, 2019).

Tabla 19

Punto de muestreo 2 RMash2 – Sector La Molina

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	13 ($\Delta 3$)	$\Delta 3$
Turbidez	NTU	233,0	
Sólidos totales	mg/L	674,0	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,6	4,5
DBO ₅	mg/L	7,3	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	14 000	1000
pH	en unidades de pH	7,78	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	1,917	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de avenida y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 19, correspondiente al sector La Molina, se puede apreciar que los valores de temperatura, la DBO₅, pH y oxígeno disuelto (OD) se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que los valores de los parámetros de coliformes termotolerantes e iones nitratos (NO₃)¹⁻ sobrepasaron con lo establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. Estas fuentes de nitrato pueden tener impactos significativos en la calidad del agua y la salud del ecosistema y puede atribuirse a los aportes de las descargas de efluentes, fuentes agrícolas, como la aplicación de fertilizantes y los desechos del ganado, así como la erosión del suelo.

Tabla 20*Punto de muestreo 3 RMash3 – Bella Unión*

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA
Temperatura	°C	14 (Δ 3)	Δ 3
Turbidez	NTU	187,5	
Sólidos totales	mg/L	575,5	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,7	4,5
DBO ₅	mg/L	6,5	15
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	170 000	1 000
pH	en unidades de pH	7,70	6,5 – 8,5
Nitratos (NO ₃) ¹⁻	mg/L	1,711	1,0
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/L	0,031	

Nota. Los resultados obtenidos fueron tomados en época de avenida y comparados con los ECA según D.S. N° 004-2017, MINAM, categoría 3, subcategorías D1 y D2.

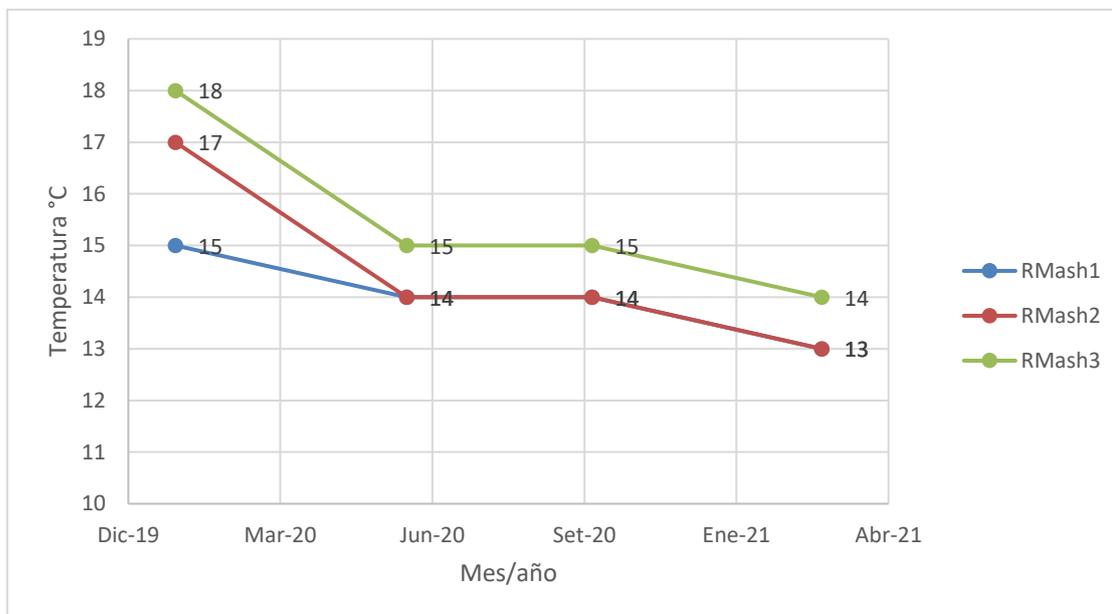
De acuerdo con los resultados observados en la tabla 20, que corresponde al sector Bella Unión, se puede apreciar que los valores de los parámetros de temperatura, la DBO₅, pH y oxígeno disuelto (OD) se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua. En tanto que los resultados de los coliformes termotolerantes y los iones nitratos (NO₃)¹⁻ sobrepasaron o establecido en el ECA-Agua, categoría 3 que corresponde al riego de vegetales y bebida de animales. Según Lopez et al. (2017), esto se debe a que las aguas del río reciben efluentes de aguas residuales, sedimentos acuáticos y suelo orgánico enriquecido (es decir, el lodo residual modificado) después de periodos de fuertes lluvias.

4.5 Resultados por indicadores establecidos en el ICA-NSF

1. Temperatura

Figura 5

Temperatura del agua en cada punto de muestreo



Nota. Temperatura registrados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

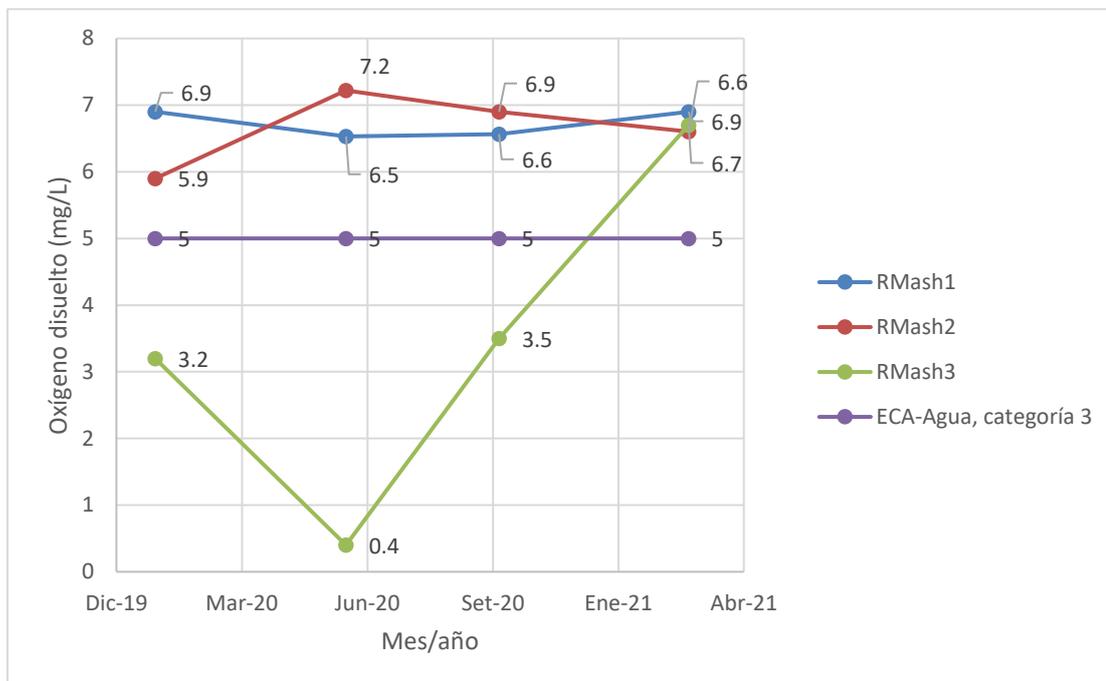
De acuerdo a lo observado en la figura 5, se evidenció que existe un incremento de la temperatura en el mes de enero, considerando que fue en tiempo de estiaje y las fluctuaciones de temperatura son naturales y representativas de los ríos altoandinos, pero que se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, descrito en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en donde la temperatura debe variar en $\Delta 3$ °C con respecto a la temperatura promedio para riego de cultivos y bebida de animales, esto quiere decir que la temperatura promedio del punto de muestreo 1 (RMash1) es 14,0 °C, mientras que la temperatura promedio del punto de muestreo 2 (RMash2) es 14,5 °C y la temperatura

promedio del punto de muestreo 3 (RMash3) es 15,5 °C y, de acuerdo a Pradana y García (2019), las condiciones térmicas del agua, es decir la temperatura, puede determinar el estado de calidad de la misma, un aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases, reduciendo la cantidad de oxígeno disuelto. Por otra parte, el incremento de temperatura aumenta la velocidad de las reacciones químicas y biológicas que se producen en el medio acuático, se produce un mayor crecimiento de las algas y macrófitos, alteraciones en el desove de los peces, desplazamiento de especies, y por tanto modificaciones en la diversidad de estas en el ecosistema, la temperatura del agua aumenta la proliferación de parásitos y microorganismos patógenos, también se produce un aumento en la velocidad del metabolismo de los seres vivos con un aumento del consumo de oxígeno que en determinadas condiciones puede llegar a la anoxia (p. 98). Para el ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales, el aumento notable de la temperatura del agua afecta, además, los ciclos reproductivos, la digestión y la respiración de los organismos que habitan las aguas y cuando la temperatura es demasiado elevada, se presenta incluso muertes de peces (p.25), esto se relaciona con lo señalado por Matta et al. (2020), que señala que la temperatura es un parámetro importante para el medio acuático y, además como señala Cunningham et. al. (2023), los seres humanos también causan contaminación térmica al alterar la cubierta vegetal y los patrones de escorrentía. La reducción del flujo de agua, la tala de árboles en las riberas y la adición de sedimentos hacen que el agua se caliente y alteren los ecosistemas en un lago o en una corriente (p.290).

2. Oxígeno Disuelto (OD)

Figura 6

Oxígeno disuelto en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

Considerando que los meses de enero y junio fueron épocas de estiaje, en tanto que los meses de octubre y marzo (2021) fueron épocas de avenida, se puede evidenciar en la figura 6 que el promedio en el punto de muestreo 1 (RMash1) es de 6,72 mg/L de oxígeno disuelto; en el punto de muestreo 2 (RMash2) el promedio fue de 6,66 mg/L de oxígeno disuelto y en el punto de muestreo 3 (RMash3) el promedio fue de 3,45 mg/L de oxígeno disuelto. Considerando que los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en donde el oxígeno disuelto debe ser mayor o igual a 5 mg/L (valor mínimo) para riego de cultivos y bebida de animales, se puede

evidenciar que el punto de muestreo 3 (RMash3) no cumple con el estándar establecido, a pesar de que en épocas de avenida experimenta una ligera variación (incremento) y según Pradana y García (2019), esto degrada la calidad del agua y sus usos potenciales (p. 98). Citando a Sierra (2018), el impacto de una baja concentración de OD o de condiciones anaeróbicas se refleja en un ecosistema desbalanceado, mortandad de peces, olores y otras molestias estéticas. Asimismo, manifiesta que el OD se ha constituido en un parámetro más importante en el diagnóstico sobre el estado de contaminación de un ecosistema acuático. El problema del OD puede entonces resumirse como la descarga de desechos orgánicos e inorgánicos en un cuerpo de agua que ocasiona el descenso en las concentraciones de OD lo cual interfiere con los usos benéficos del agua (p.260).

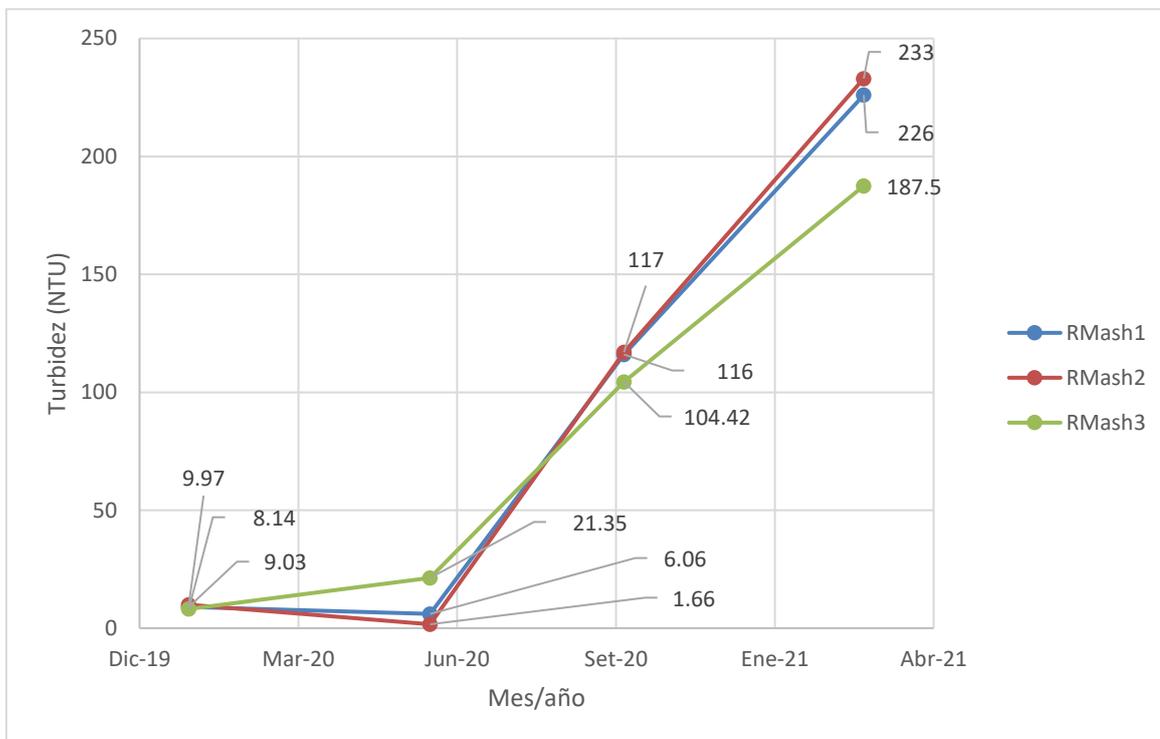
Como señala Manahan (2007) sin un nivel apreciable de oxígeno disuelto, muchas clases de organismos acuáticos no podrían existir en el agua, muchas muertes de peces no se producen por la toxicidad directa de los contaminantes orgánicos, sino por una deficiencia de oxígeno debido a su consumo en la biodegradación de los contaminantes por parte de bacterias (p.41).

Por último y, de acuerdo con Navas (2017), los bajos niveles se deben a que bacterias que lo respiran lo han agotado. La depuración aeróbica ha terminado y se inicia la anaeróbica, con producción de ácido sulfhídrico y otros gases de mal olor originados por fermentaciones (p. 66).

3. Turbidez

Figura 7

Turbidez en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

De acuerdo con lo observado en la figura 7, el promedio de turbidez en el punto de muestreo 1 (RMash1) es 89,27 NTU; en el punto de muestreo 2 (RMash2) es 90,41 NTU y en el punto de muestreo 3 (RMash3) es 80,35 NTU. Considerando que los meses de enero y junio fueron épocas de estiaje, en tanto que los meses de octubre y marzo (2021) fueron épocas de avenida, se puede observar en la figura 3 que la turbidez se incrementa considerablemente en épocas de avenida (meses octubre y marzo 2021); esto concuerda con Marín (2019) donde señala que la turbidez suele evolucionar en el mismo sentido al del aporte de aguas de escorrentías al medio hídrico, a su vez

provocada por la existencia de precipitaciones, especialmente si estas son de carácter torrencial o se producen en terrenos susceptibles de una fácil erosión.

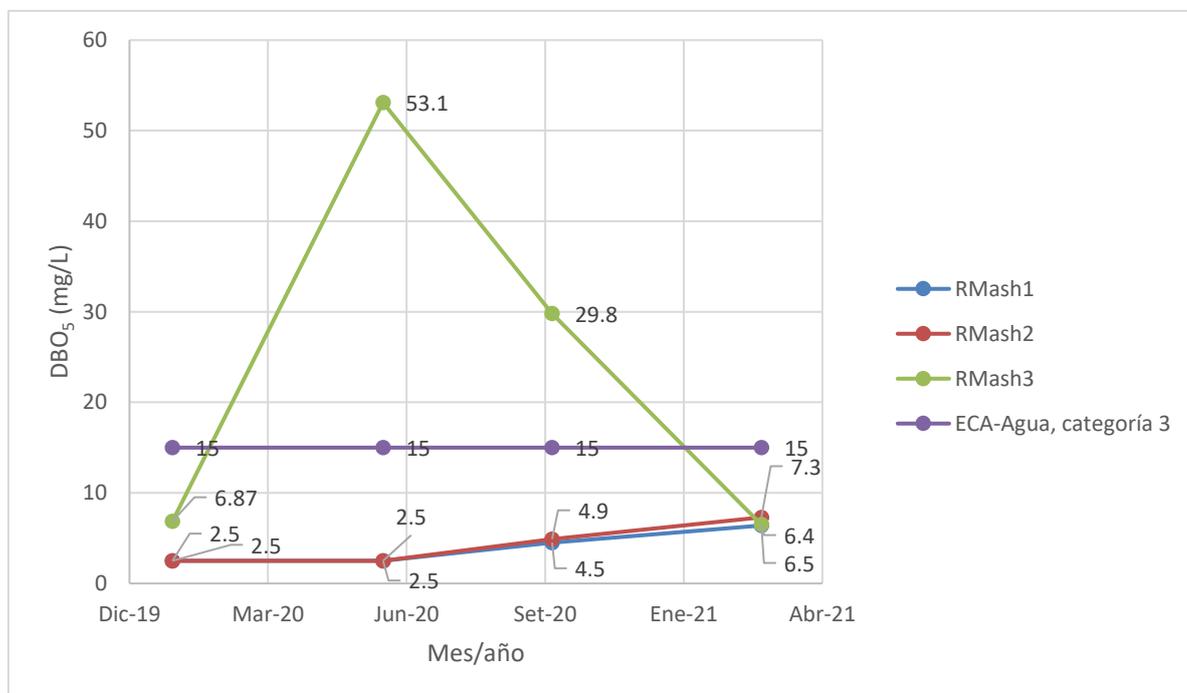
Considerando que, al ser una época de avenida, la turbidez es un indicador importante de la calidad del agua y de acuerdo con el estándar de NESREA para aguas superficiales (5 NTU), se observa niveles elevados de este parámetro que pueden perjudicar los ecosistemas acuáticos, dificultar la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis y comprometer los procesos de tratamiento del agua. De acuerdo con lo señalado anteriormente, desde el punto de vista del agua de consumo humano, considerando que las aguas del río Mashcón pueda de ser utilizado para dicho fin, y con lo manifestado por Marín (2019), se suelen correlacionar valores altos de turbidez con la aparición de bacterias y virus. Por otro lado, los compuestos orgánicos productores de turbidez poseen un notable efecto adsorbente sobre los posibles plaguicidas en general existentes en un cuerpo de agua, dificultando de esta forma su eliminación, además de poder formar quelatos con metales, incrementando la resistencia a la reducción de estos en el posterior tratamiento del agua.

Finalmente, y de acuerdo con Cardenas (2022), se acepta que la turbidez afecta adversamente el desarrollo de los peces, debido a que esta reduce la intensidad y profundidad de penetración de la luz en los cuerpos naturales de aguas y, de esta forma, limita la disponibilidad de oxígeno disuelto y el crecimiento de las plantas que constituyen el sustento de los peces.

4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Figura 8

Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

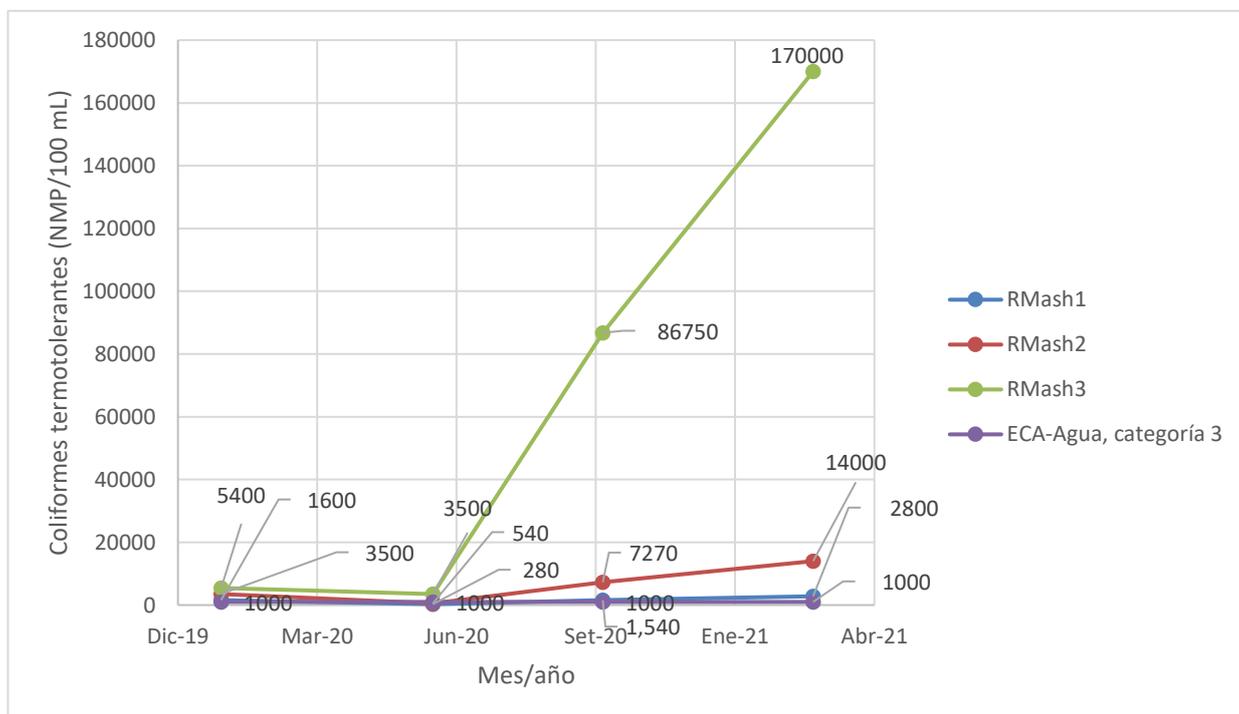
De acuerdo a lo observado en la figura 8, se puede apreciar que el punto de muestreo 3 (RMash3), supera el ECA, con un promedio de 24,07 mg/L, y como señala la ANA (2018), se puede mencionar que en los monitoreos de calidad del agua de las cuencas hidrográficas del Perú, se han encontrado que los valores de este parámetro superan los ECA - Agua y es una variable importante que permite determinar la contaminación de los cuerpos naturales de agua superficiales por las aguas servidas, desechos industriales de tipo orgánico y efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticos e industrial con alto contenido de materia orgánica y, como señala la EPA (2024), a mayor cantidad de DBO, mayor grado de contaminación.

Por tanto, de acuerdo a Baird y Cann (2014), quienes consideran que la DBO media en agua superficial no contaminada en los Estados Unidos es de unos 0,7 miligramos de O_2 por litro, lo cual es considerablemente menor que la solubilidad máxima del O_2 en agua (de $8,7 \text{ mg.L}^{-1}$ a 25°C), en aguas contaminadas por sustancias orgánicas asociadas a residuos de animales o de alimentos, la demanda de oxígeno supera la máxima solubilidad en el equilibrio de oxígeno disuelto; y, en estas circunstancias, a menos que el agua esté continuamente aireada, el oxígeno del agua se va agotando con rapidez y los peces que viven en ella se van muriendo.

5. Coliformes Termotolerantes

Figura 9

Coliformes termotolerantes en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

Según la figura 9, se puede observar que el punto de muestreo 1 (RMash 1) tiene un promedio de 1 555 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, el punto de muestreo 2 (RMash2) tiene un promedio 6 327 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes y el punto de muestreo 3 (RMash3) tiene un promedio de 66 412,50 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Los tres puntos de muestreo superan el parámetro establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, siendo además el punto de muestreo 3 (RMash3) el que contiene la mayor cantidad de coliformes termotolerantes, superiores al orden de los 10^4 NMP/100 mL, considerando que, como señala Lopez et al. (2017), si el agua contiene concentraciones significativas de materia orgánica y tiene una temperatura elevada, las bacterias pueden aumentar su número como también si son aguas que reciben efluentes de aguas residuales, sedimentos acuáticos y suelo orgánico enriquecido (es decir, el lodo residual modificado) después de periodos de fuertes lluvias y que se puede observar en la figura durante el periodo del mes de marzo del año 2021.

De acuerdo con la clasificación establecida para el agua del río Mashcón, se correlaciona con lo señalado por Vesga et al. (2024), donde describe que alrededor de 2 000 millones de personas utilizan una fuente de agua contaminada con microorganismos de origen fecal, utilizada tanto para el consumo humano como para el riego de cultivos. Esto supone un riesgo para el consumidor final, ya que estos alimentos se comercializan como productos frescos listos para el consumo directo sin sufrir ningún tratamiento de desinfección o cocción, lo que representa un riesgo para la salud pública y señala la necesidad de realizar un control sanitario estricto y constante sobre que consume nuestra población.

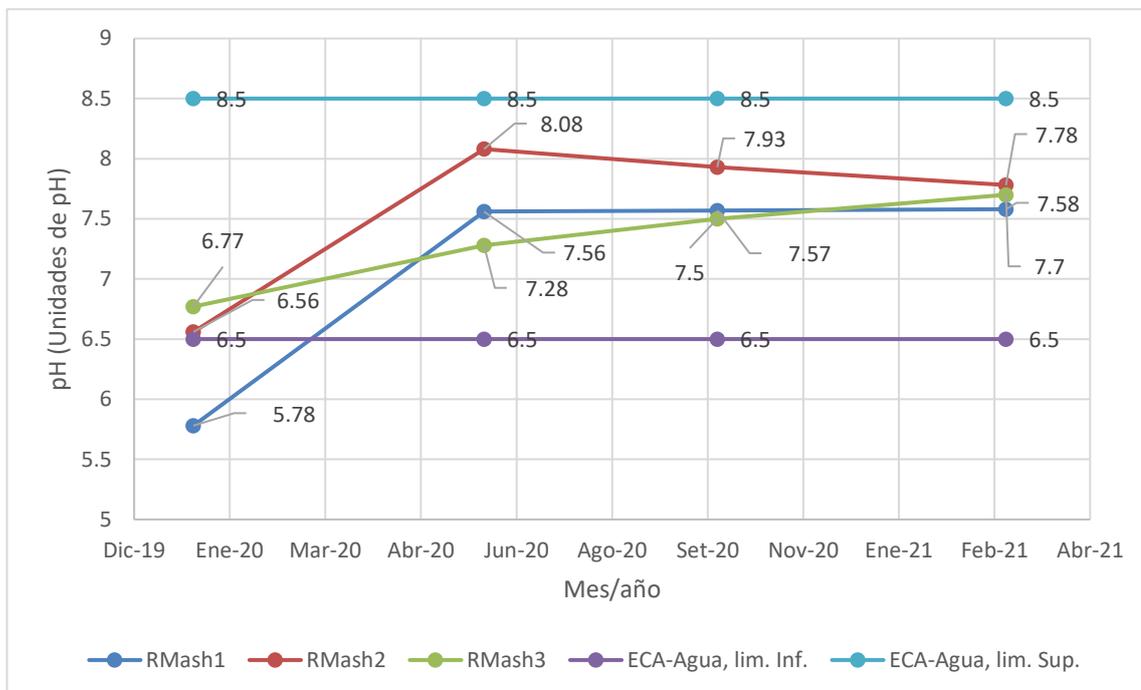
Para la ANA (2018) en su publicación “Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, la presencia de coliformes termotolerantes en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen puede deberse a los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores, puede ser por la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos (p. 26)

De acuerdo a lo señalado por Sierra (2018) y, considerando que el agua del río Mashcón es utilizado frecuentemente por la población cajamarquina, se sabe con certeza que la *Escherichia coli* (tipo enteropatógeno) produce gastroenteritis y ataca con mayor frecuencia la población infantil y a los ancianos (p. 78); y como señala Cunningham (2023), si hay alguna bacteria coliforme en una muestra de agua, se supone que también hay patógenos infecciosos, y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) considera que el agua no es apta para el consumo humano (p. 286). Además, según Navas (2017) los microorganismos van consumiendo el oxígeno disuelto (OD), lo que representa una amenaza para las demás formas de vida acuáticas, sin ser necesariamente patógenos (p. 12).

6. Potencial de Hidrógeno (pH)

Figura 10

Potencial de hidrógeno (pH) en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

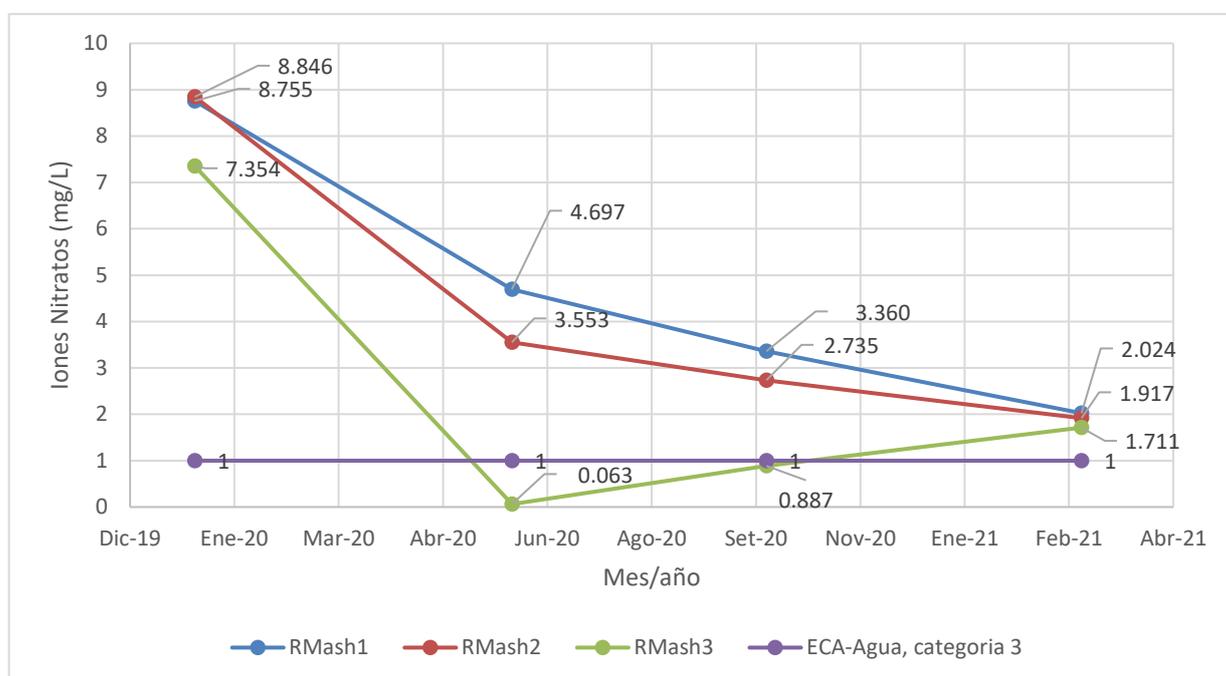
Como se puede observar en la figura 10, el promedio de pH en el punto de muestreo 1 (RMash1) es 7,12; en el punto de muestreo 2 (RMash2) el promedio es 7,59; mientras que en el punto de muestreo 3 (RMash3) el promedio es 7,31. De acuerdo con lo observado se puede apreciar que el pH se encuentra dentro de los límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Para la ANA (2018) en su publicación “Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, el pH en las cuencas hidrográficas donde recorre el agua sin actividad antrópica, en cierta forma está determinado por la

geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato; el pH en la mayoría de los cuerpos de agua varía entre 6,5 a 8,5 (p. 29). Además, Navas (2017) señala que si el pH es bajo (ácido), el agua puede ser agresiva y disolver metales pesados; un pH alto puede comprometer la desinfección (p. 66).

7. Iones nitratos (NO_3)¹⁻

Figura 11

Nitratos (NO_3)¹⁻ en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

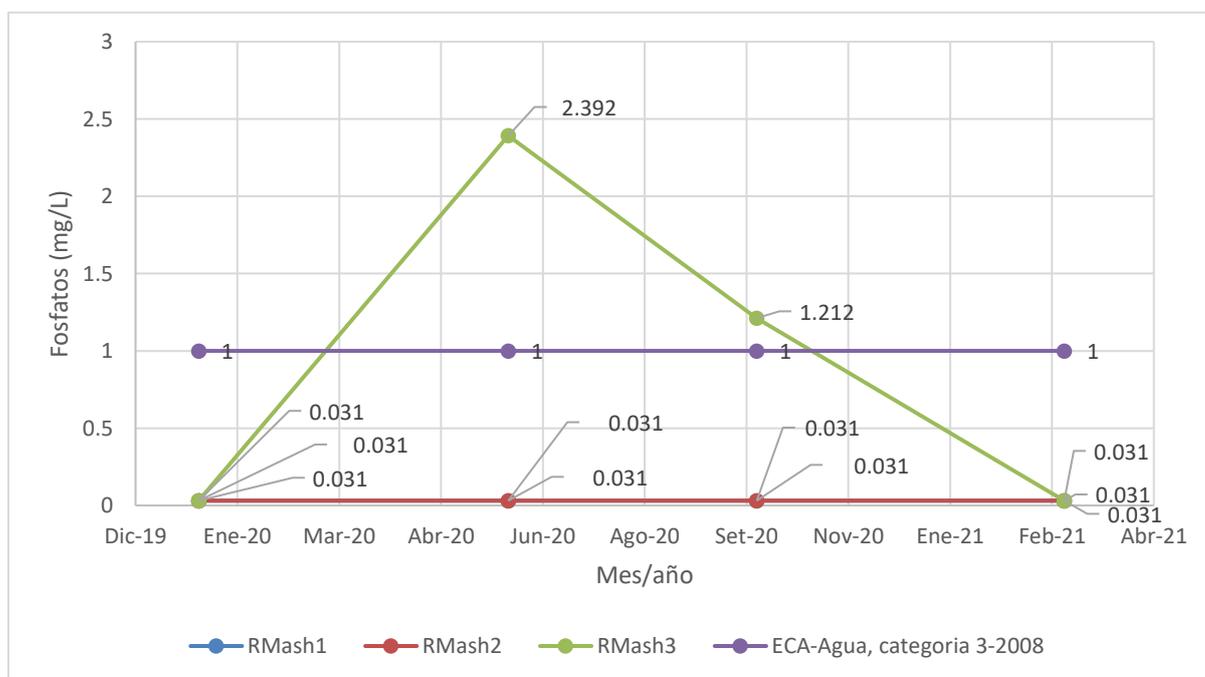
Como se puede observar en la figura 11, el promedio de iones nitratos (NO_3)¹⁻ en el punto de muestreo 1 (RMash1) es 4,71; en el punto de muestreo 2 (RMash2) el promedio es 4,26; mientras que en el punto de muestreo 3 (RMash3) el promedio es 2,50. De acuerdo a lo observado se puede apreciar que la concentración de iones nitratos (NO_3)¹⁻excede los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el

agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM; además como señala Sierra (2018), cuando existen actividades antrópicas, el agua superficial puede tener concentraciones hasta 5 mg (NO₃)¹⁻/L pero normalmente son menores a 1 mg (NO₃)¹⁻/L; asimismo señala que concentraciones por encima de los 5 mg (NO₃)¹⁻/L usualmente indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o escorrentía (p.73). Esto concuerda también con INEGI (2019), que señala que la presencia de iones nitratos (NO₃)¹⁻ en el agua es el resultado de procesos naturales como la precipitación y descomposición de la materia orgánica, además de actividades humanas que incluyen la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno y deforestación (p. 109).

8. Iones fosfatos (PO₄)³⁻

Figura 12

Fosfatos (PO₄)³⁻ en cada punto de muestreo



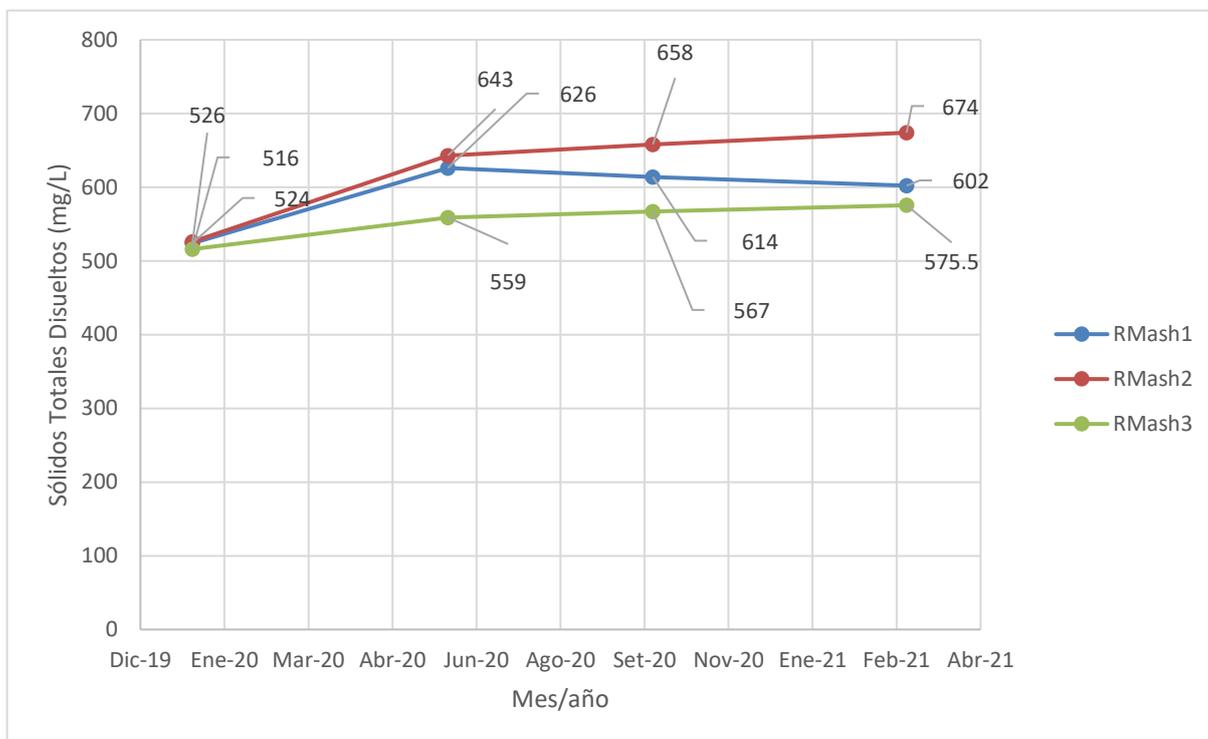
Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

Como se puede observar en la figura 12, el promedio de iones nitratos $(\text{NO}_3)^{1-}$ en el punto de muestreo 1 (RMash1) es 0,031; en el punto de muestreo 2 (RMash2) el promedio es 0,031; mientras que en el punto de muestreo 3 (RMash3) el promedio es 0,917. Considerando que, en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, no se encuentra establecido los valores para fosfatos, sin embargo, en los Estándares de Calidad Ambiental publicado en el Decreto Supremo anterior (N° 0002-2008), establecía el valor para fosfatos-P de 1 mg/L y según INEGI (2019) en cuerpos de agua no contaminadas puede llegar a una concentración de 0,05 mg/L; concentraciones mayores se deben a la incorporación de aguas residuales o tratadas que estimulan el crecimiento de macro y microorganismos y según lo observado, se puede evidenciar que el agua del punto de muestreo 3 (RMash3) excede el valor máximo, por lo que se deduce que la presencia de agua residual y el uso de fertilizantes deben ser los causantes de los elevados niveles de fosfatos.

9. Sólidos Totales Disuelto (STD)

Figura 13

Sólidos Totales Disueltos (STD) en cada punto de muestreo



Nota. Datos tomados durante los meses de enero, junio y octubre del año 2020 y el mes de marzo del año 2021.

De acuerdo con lo observado en la figura 13, se puede apreciar que el promedio de los sólidos totales disueltos en el punto de muestreo 1 (RMas1) es 591,5 mg/L; en el punto de muestreo 2 es 625,3 mg/L y en el punto de muestreo 3 es 554,4 mg/L. Considerando que, en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, no se encuentra establecido los valores para sólidos totales disueltos y según Ramos et al. (2003) los sólidos disueltos o filtrables, son componentes de los totales; comprenden partículas del tamaño de los iones y de los coloides, cuya magnitud oscila entre 0,001 y una micra y en gran parte de la literatura referente a calidad de agua, los sólidos que pasa a través de un filtro reciben el nombre

de sólidos disueltos (p. 85); se puede coincidir con lo que señala Rigola (1990), que el origen de los sólidos disueltos puede ser múltiples, orgánico e inorgánico, tanto en cuerpos de agua subterráneas como superficiales (p. 32).

4.6 Prueba de hipótesis por indicadores establecidos en el ICA-NSF

Tabla 21

Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados

Puntos de muestreo	Mes / año	T (°C)	Td (NTU)	STD (mg/L)	OD (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	CT (NMP/100 mL)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
RMash 1 Sector H. Baja	Enero 2020	15	9,03	524,0	6,9	2,5	1600	5,78	8,755	0,031
	Junio 2020	14	6,06	626,0	6,530	2,5	280	7,56	4,697	0,031
	Octubre 2020	14	232,06	614,0	6,565	4,5	1540	7,57	3,360	0,031
	Marzo 2021	13	226,0	602,0	6,9	6,4	2800	7,58	2,024	0,031
RMash 2 Sector La Molina	Enero 2020	17	9,97	526,0	5,9	2,5	3500	6,56	8,846	0,031
	Junio 2020	14	1,66	643,0	7,220	2,5	540	8,08	3,553	0,031
	Octubre 2020	14	117,0	658,0	6,90	4,9	7270	7,93	2,735	0,031
	Marzo 2021	13	233,0	674,0	6,6	7,3	14000	7,78	1,917	0,031
RMash 3 Sector Bella Unión	Enero 2020	18	8,14	516,0	3,2	6,87	5400	6,77	7,354	0,031
	Junio 2020	15	21,35	559,0	0,4	53,1	3500	7,28	0,063	2,392
	Octubre 2020	15	104,42	567,0	3,5	29,8	86750	7,50	0,887	1,212
	Marzo 2021	14	187,5	575,5	6,7	6,5	170000	7,70	1,711	0,031

Nota. Los resultados fueron obtenidos a partir de los informes del Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca, siguiendo los protocolos establecidos para la cadena de custodia y los análisis realizados.

1. Prueba de hipótesis para temperatura

Tabla 22

Prueba de hipótesis para temperatura en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

H₀: La temperatura de las muestras es mayor $\Delta 3$.

H₁: La temperatura de las muestras es menor o igual $\Delta 3$.

Media	2,25	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,5	H ₀ : $\mu > 3$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 3$
Nivel de Sig. (α)	0.05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	3	3. Estadístico de prueba
	-3	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: La temperatura de las muestras es menor o igual a $\Delta 3$. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 23

Prueba de hipótesis para temperatura en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

H₀: La temperatura de las muestras es mayor $\Delta 3$.

H₁: La temperatura de las muestras es menor o igual $\Delta 3$.

Media	2,375	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,478713554	H ₀ : $\mu > 3$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 3$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	3	3. Estadístico de prueba
	-2,611164839	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 : La temperatura de las muestras es menor o igual a $\Delta 3$. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 24

Prueba de hipótesis para temperatura en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión

H_0 : La temperatura de las muestras es mayor $\Delta 3$.

H_1 : La temperatura de las muestras es menor o igual $\Delta 3$.

Media	2,375	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,478713554	$H_0: \mu > 3$
n	4	$H_1: \mu \leq 3$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	3	3. Estadístico de prueba
	-2,611164839	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 : La temperatura de las muestras es menor o igual a $\Delta 3$. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

2. Prueba de hipótesis para iones nitratos (NO_3)¹⁻

Tabla 25

Prueba de hipótesis para nitratos (NO_3)¹⁻ en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

H₀: La concentración de nitratos de las muestras es mayor a 1.

H₁: La concentración de nitratos de las muestras es menor o igual a 1.

Media	4,709	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	2,909712815	H ₀ : $\mu > 1$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 1$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	1	3. Estadístico de prueba
	2,54939249	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₁ y se acepta H₀: La concentración de iones nitratos (NO_3)¹⁻ es mayor a 1,0 g/mL. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 26

Prueba de hipótesis para nitratos (NO_3)¹⁻ en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

H₀: La concentración de nitratos de las muestras es mayor a 1.

H₁: La concentración de nitratos de las muestras es menor o igual a 1.

Media	4,26275	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	3,127644947	H ₀ : $\mu > 1$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 1$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	1	3. Estadístico de prueba
	2,086394111	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_1 y se acepta H_0 : La concentración de iones nitratos (NO_3)¹⁻ es mayor a 1,0 g/mL. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 27

Prueba de hipótesis para nitratos (NO_3)¹⁻ en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión

H_0 : La concentración de nitratos de las muestras es mayor 1.

H_1 : La concentración de nitratos de las muestras es menor o igual a 1.

Media	2,50375	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	3,302752324	$H_0: \mu > 1$
n	4	$H_1: \mu \leq 1$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	1	3. Estadístico de prueba
	0,910604158	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_1 y se acepta H_0 : La concentración de iones nitratos (NO_3)¹⁻ es mayor a 1,0 g/mL. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

3. Prueba de hipótesis para potencial de hidrógeno (pH)

Teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el pH debe encontrarse entre 6,5 a 8,5 para riego de cultivos. En cambio, para bebida de animales, se debe encontrar entre 6,5 a 8,4. Como no hay diferencia significativa, se realizará, dos pruebas de hipótesis, tanto para el límite inferior (6,5) y superior (8,5), para cultivos y bebida de animales.

Tabla 28

Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

Para el límite inferior:

H₀: El pH de las muestras es igual o menor a 6,5.

H₁: El pH de las muestras es mayor 6,5.

Media	7,1225	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,895037243	H ₀ : $\mu \leq 6,5$
n	4	H ₁ : $\mu > 6,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	6,5	3. Estadístico de prueba
	1,391003569	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₁ y se acepta H₀: El pH de las muestras es igual o menor a 6,5. Por lo tanto en su límite inferior se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 29

Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

Para el límite superior:

H₀: El pH de las muestras es igual o mayor a 8,5.

H₁: El pH de las muestras es menor a 8,5.

Media	7,1225	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,895037243	H ₀ : $\mu \geq 8,5$
n	4	H ₁ : $\mu < 8,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	8,5	3. Estadístico de prueba
		-3,078084204

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: El pH de las muestras es menor de 8,5. Por lo tanto en su límite superior se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 30

Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

Para el límite inferior:

H₀: El pH de las muestras es igual o menor a 6,5.

H₁: El pH de las muestras es mayor 6,5.

Media	7,5875	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,695862774	H ₀ : $\mu \leq 6,5$
n	4	H ₁ : $\mu > 6,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	6.5	3. Estadístico de prueba
		3,125616259

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: El pH de las muestras es mayor a 6,5. Por lo tanto en su

límite inferior se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 31

Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

Para el límite superior:

H₀: El pH de las muestras es igual o mayor a 8,5.

H₁: El pH de las muestras es menor a 8,5.

Media	7,5875	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,695862774	H ₀ : $\mu \geq 8,5$
n	4	H ₁ : $\mu < 8,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	8,5	3. Estadístico de prueba
		-2,622643528

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: El pH de las muestras es menor de 8,5. Por lo tanto, en su límite superior se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 32

Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión

Para el límite inferior:

H₀: El pH de las muestras es igual o menor a 6,5.

H₁: El pH de las muestras es mayor 6,5.

Media	7,3125	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,400281151	H ₀ : $\mu \leq 6,5$
n	4	H ₁ : $\mu > 6,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	6,5	3. Estadístico de prueba
	4,059646564	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: El pH de las muestras es mayor a 6,5. Por lo tanto en su límite inferior se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 33

Prueba de hipótesis para pH en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión

Para el límite superior:

H₀: El pH de las muestras es igual o mayor a 8,5.

H₁: El pH de las muestras es menor a 8,5.

Media	7,3125	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,400281151	H ₀ : $\mu \geq 8,5$
n	4	H ₁ : $\mu < 8,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
Tcrítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	8,5	3. Estadístico de prueba
	-5,933329593	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 : El pH de las muestras es menor de 8,5. Por lo tanto en su límite superior se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4. Prueba de hipótesis para Oxígeno Disuelto (OD)

Teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el oxígeno disuelto debe encontrarse, como valor mínimo, mayor o igual a 4 mg/L para riego de vegetales. En cambio, para bebida de animales, se debe encontrar como valor mínimo mayor o igual a 5 mg/L. Por tanto, en la presente investigación se tomará el valor promedio, como valor mínimo, mayor o igual a 4,5.

Tabla 34

Prueba de hipótesis para oxígeno disuelto (OD) en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

H_0 : El Oxígeno Disuelto de las muestras es menor a 4,5 mg/L.

H_1 : El Oxígeno Disuelto de las muestras es mayor o igual a 4,5 mg/L.

Media	6,72375	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,204016952	$H_0: \mu < 4,5$
n	4	$H_1: \mu \geq 4,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	4.5	3. Estadístico de prueba
	21,79965909	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 : El oxígeno disuelto de las muestras es mayor o igual de 4,5 mg/L. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los

Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 35

Prueba de hipótesis para oxígeno disuelto (OD) en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

H₀: El Oxígeno Disuelto de las muestras es menor a 4,5 mg/L.

H₁: El Oxígeno Disuelto de las muestras es mayor o igual a 4,5 mg/L.

Media	6,655	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	0,563412223	H ₀ : $\mu < 4,5$
n	4	H ₁ : $\mu \geq 4,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	4,5	3. Estadístico de prueba
	7,649816284	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: El oxígeno disuelto de las muestras es mayor o igual de 4,5 mg/L. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 36

Prueba de hipótesis para oxígeno disuelto (OD) en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión

H₀: El Oxígeno Disuelto de las muestras es menor a 4,5 mg/L.

H₁: El Oxígeno Disuelto de las muestras es mayor o igual a 4,5 mg/L.

Media	3,45	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	2,577466456	H ₀ : $\mu < 4,5$
n	4	H ₁ : $\mu \geq 4,5$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	4,5	3. Estadístico de prueba
	-0,814753571	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_1 y se acepta H_0 : El oxígeno disuelto de las muestras es menor de 4,5 mg/L. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

5. Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Tabla 37

Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

H_0 : La DBO₅ de las muestras es mayor a 15 mg/L.

H_1 : La DBO₅ de las muestras es menor o igual a 15 mg/L.

Media	3,975	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	1,871496727	$H_0: \mu > 15$
n	4	$H_1: \mu \leq 15$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	15	3. Estadístico de prueba
	-11,78201366	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 : La DBO₅ de las muestras es menor o igual de 15 mg/L. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 38

Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

H₀: La DBO₅ de las muestras es mayor a 15 mg/L.

H₁: La DBO₅ de las muestras es menor o igual a 15 mg/L.

Media	4.3	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	2,297825059	H ₀ : $\mu > 15$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 15$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	15	3. Estadístico de prueba
	-9,313154594	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₀ y se acepta H₁: La DBO₅ de las muestras es menor o igual de 15 mg/L. Por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 39

Prueba de hipótesis para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el punto de muestreo 3 (RMash3) - sector Bella Unión

H₀: La DBO₅ de las muestras es mayor a 15 mg/L.

H₁: La DBO₅ de las muestras es menor o igual a 15 mg/L.

Media	24,0675	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	22,21199882	H ₀ : $\mu > 15$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 15$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	15	3. Estadístico de prueba
	0,816450611	

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₁ y se acepta H₀: La DBO₅ de las muestras es mayor de 15 mg/L. Por lo

tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

6. Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes

Tabla 40

Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes en el punto de muestreo 1 (RMash1) - sector Huambocancha Baja

H₀: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es mayor a 1 000 NMP/100mL.

H₁: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es menor o igual a 1 000 NMP/100 mL.

Media	1555	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	1029,223008	H ₀ : $\mu > 1000$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 1000$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	1000	3. Estadístico de prueba
		1,078483469

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₁ y se acepta H₀: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es mayor de 1 000 NMP/100 mL. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 41

Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes en el punto de muestreo 2 (RMash2) - sector La Molina

H₀: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es mayor a 1 000 NMP/100mL.

H₁: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es menor o igual a 1 000 NMP/100 mL.

Media	6052,5	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	5983,852577	H ₀ : $\mu > 1000$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 1000$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	1000	3. Estadístico de prueba
		1,688711389

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H₁ y se acepta H₀: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es mayor de 1 000 NMP/100 mL. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 42

Prueba de hipótesis para Coliformes Termotolerantes en el punto de muestreo 3 (RMash2) - sector Bella Unión

H₀: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es mayor a 1 000 NMP/100mL.

H₁: Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es menor o igual a 1 000 NMP/100 mL.

Media	66412,5	1. Planteamiento de hipótesis
Des. Estándar	79213,8285	H ₀ : $\mu > 1000$
n	4	H ₁ : $\mu \leq 1000$
Nivel de Sig. (α)	0,05	2. Nivel de significancia
T. Crítico	-2,353363435	$\alpha = 0,05$
Valor de prueba	1000	3. Estadístico de prueba
		1,651542445

Con un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística para afirmar que, se rechaza la H_1 y se acepta H_0 : Los Coliformes Termotolerantes de las muestras es mayor de 1 000 NMP/100 mL. Por lo tanto, no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.7 Resultados del ICA - NSF

Tabla 43

Resultados del índice de calidad del agua NSF

Puntos de muestreo	Mes/año	ICA NSF	Clasificación NSF	ICA NSF promedio	Clasificación NSF promedio
RMash1	Enero 2020	66	Regular	68	Regular
	Junio 2020	75	Buena		
	Octubre 2020	65	Regular		
	Marzo 2021	64	Regular		
RMash2	Enero 2020	67	Regular	66	Regular
	Junio 2020	74	Buena		
	Octubre 2020	63	Regular		
	Marzo 2021	60	Regular		
RMash3	Enero 2020	56	Regular	52	Regular
	Junio 2020	44	Mala		
	Octubre 2020	46	Mala		
	Marzo 2021	60	Regular		

Nota. Los datos calculados para cada ICA-NSF se realizó a través del Water Quality Index

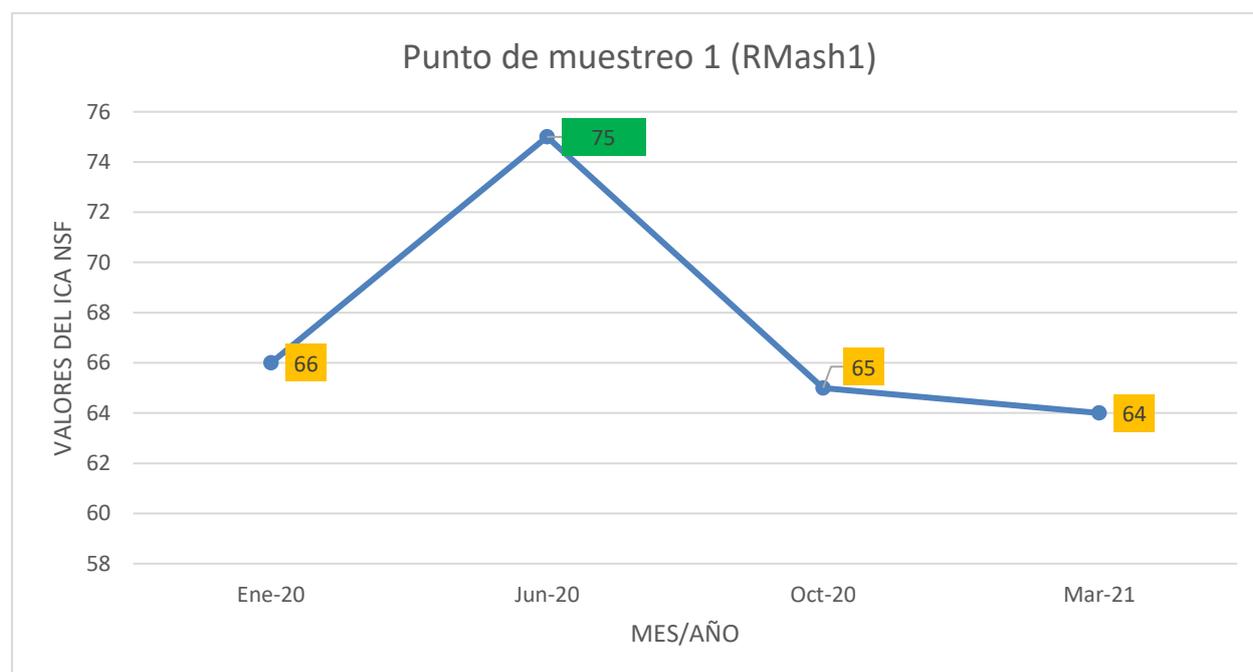
Calculator for Surface Water

Considerando que según el ICA-NSF establece que calidad de agua considerada como regular se encuentra entre los valores de 51 a 70, se puede observar en la tabla 39 que el promedio de los resultados obtenidos en los tres puntos de muestreo se encuentran dentro de esta clasificación; sin embargo es preciso señalar que en el punto de muestreo 3 (RMash3), que se encuentra ubicado a 400 m del puente El Porongo, carretera Baños del Inca (Bella Unión) presenta, en dos periodos, valores menores a 50 encontrándose dentro de la categoría de mala

y que evidencia el deterioro de la calidad del agua del río Maschón producto de las descargas de agua residual en diferentes zonas cuando atraviesa la zona urbana de la ciudad de Cajamarca y de acuerdo con Mata et al (2020), los resultados del ICA muestran que la calidad del agua superficial varía en los puntos de muestreo debido a los desechos agrícolas, los efluentes no tratados y muchas otras actividades antropogénicas identificados como los principales contribuyentes a la disminución de la calidad del agua. En los puntos de muestreo 1, ubicado a 200 m de la unión de los ríos Porcón y Grande (sector Huambocancha Baja) y el punto de muestreo 2 en el sector La Molina presentan una calidad regular.

Figura 14

Comportamiento del índice de calidad del agua en el punto de muestreo 1 (RMash1)



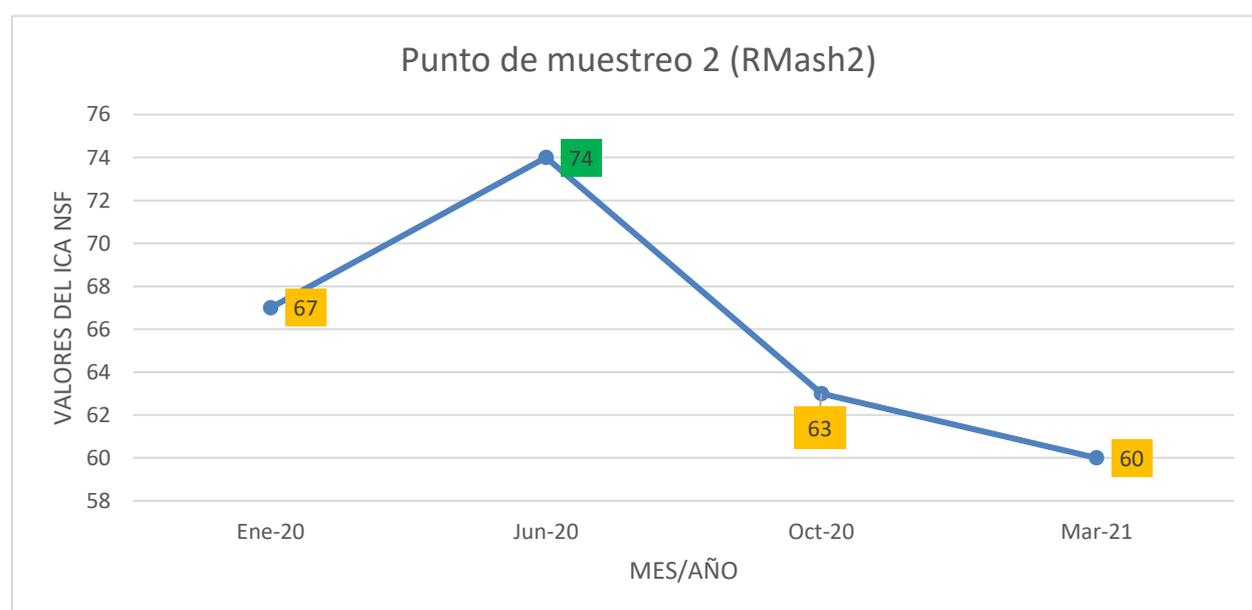
Nota. El punto de muestreo 1 (RMash1) se encuentra ubicado a 200 m de la unión de los ríos Porcón y Grande (sector Huambocancha Baja)

Los valores del ICA NSF establece que valores mayores a 71 se encuentra clasificadas como agua de buena calidad; sin embargo, observando la figura 14 se deduce que mayormente presenta una calidad regular sea en periodos de estiaje como en periodos de avenida con valores

comprendidos entre 64 a 66, siendo el valor más bajo en el mes de marzo del 2021 y el valor más alto en junio del 2020, evidenciando que existe una variación espacial y temporal de la calidad del agua.

Figura 15

Comportamiento del índice de calidad del agua en el punto de muestreo 2 (RMash2)

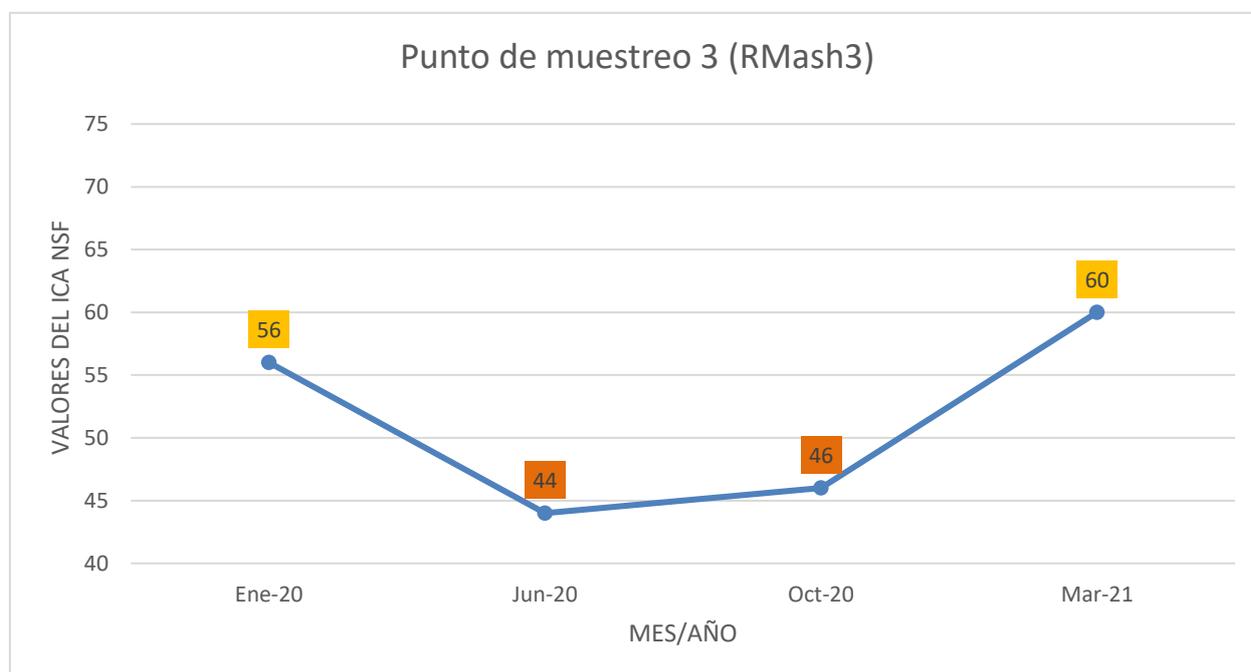


Nota. El punto de muestreo 2 (RMash2) se encuentra ubicado en el sector La Molina

En la figura 15 se evidencia que, en el mes de junio del año 2020, el agua del río Mashcón presenta una calidad buena; mientras que mayormente la calidad se encuentra dentro de la categoría de regular que comprende los valores de 60 a 67 según el ICA NSF, siendo el valor más bajo (60) en el mes de marzo del año 2021.

Figura 16

Comportamiento del índice de calidad del agua en el punto de muestreo 3 (RMash3)



Nota. El punto de muestreo 2 (RMash2) se encuentra ubicado a 400 m del puente el Porongo, carretera Baños del Inca (Bella Unión)

En la figura 16 se puede evidenciar que la calidad del agua del río Mashcón, en el sector ubicado a 400 m del puente el Porongo, carretera Baños del Inca (Bella Unión), según el ICA NSF se encuentra entre la categoría regular y mala, evidenciándose que en los meses de junio y octubre del año 2020 muestra los valores más bajos a lo largo de las tres estaciones estudiadas, lo que indica un deterioro en la calidad y como señala Matta (2020), los desechos agrícolas, los efluentes no tratados y muchas otras actividades antropogénicas son los principales contribuyentes de la disminución de la calidad del agua del río; y además, como establece Mupenzi (2017), varios factores, incluidas las perturbaciones relativas de otros usos del agua dentro de la cuenca y los afluentes que alteran la fisicoquímica del agua, influyen crucialmente en la calidad del agua de estos ríos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

La clasificación, según el promedio NSF, de la calidad del agua del río Mashcón en los tres puntos de muestreo del río Mashcón, que comprende los sectores de Huambocancha Baja, La Molina y Bella Unión es regular.

Según la evaluación del ICA-NSF, la calidad del agua del río Mashcón muestra un deterioro progresivo cuando recorre la ciudad de Cajamarca, siendo el de mayor deterioro en el punto de muestreo 3 que corresponde al sector de Bella unión, evidenciándose que en los meses de junio y octubre del año 2020 muestra los valores más bajos (44-46) que califican en la categoría de mala.

El valor promedio de la temperatura y el pH del agua de los tres puntos de muestreo están dentro de los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, subcategorías D1 y D2, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

En todos los puntos de muestreo, es decir en el sector de Huambocancha Baja, La Molina y Bella Unión, sobrepasaron valores de los parámetros de iones nitratos (NO_3)¹⁻ y coliformes termotolerantes establecidos los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, subcategorías D1 y D2, señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

En el punto de muestreo 3 ubicado en el sector de Bella Unión no se cumplen los parámetros de oxígeno disuelto (OD), DBO_5 e iones fosfatos según los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, categoría 3, subcategorías D1 y D2 señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

SUGERENCIAS

- Implementar el índice de calidad del agua como una herramienta que permita reflejar la influencia compuesta de diferentes parámetros de calidad del agua, facilitando la evaluación rápida y sencilla de la calidad del recurso hídrico, desde el punto de vista de un uso especial establecido en las normas vigentes. En este sentido, el índice de calidad del agua propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSFWQI), resulta necesario para investigaciones locales, regionales y sociales.
- Realizar el seguimiento del estado de calidad del agua superficial, considerando que es importante para la sostenibilidad y el mantenimiento de los recursos de agua dulce.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams J; Bartram, J; Chartier, Y; Sims, J. (2010). *Normas sobre agua, saneamiento e higiene para escuelas en contextos de escasos recursos*, OMS ediciones. [https://www.google.com.pe/books/edition/Normas Sobre Agua Saneamiento E Higiene/_drgETbgyl0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=coliformes+termotolerantes&pg=PA47&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Normas_Sobre_Agua_Saneamiento_E_Higiene/_drgETbgyl0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=coliformes+termotolerantes&pg=PA47&printsec=frontcover)
- Akharam, M. O., & Obianke, O. (2024). *Utilising the National Sanitation Foundation Water Quality Index for Assessing the Water Quality Status of Eruvbi River in Benin City, Nigeria*. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 28(7), 1999–2007. <https://doi.org/10.4314/jasem.v28i7.10>
- Agencia Catalana del Agua. 2000. Índices de calidad. Generalitat de Catalunya. http://acaweb.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P12000416241229447266706&profileLocale=es
- American Public Health Association, Estados Unidos de América, APHA. (2005). *Standards Methods for the examination of water & wastewater*. 21 ed. Washington, DC.
- ANA. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>
- ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>
- ANA. (2019). *Ley de los recursos hídricos. Ley N° 29338*. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos>
- Añaños Bedriñana, K. G. (Coord.) & Roel Alva, L. A. (Coord.). (2024). *El agua como derecho humano y derecho fundamental. Alcances y desafíos en América Latina*: (1 ed.). J.M. BOSCH EDITOR. <https://elibro.net/es/ereader/unc/273802?page=28>
- APHA (2017). *Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales* (23.^a ed.). Washington DC: Asociación Estadounidense de Salud Pública.
- Ball, R; Church, R. 1980. *Water Quality Indexing and Scoring*. *Journal of the Environmental Engineering División*, American Society of Civil Engineers.
- Baird, C., & Cann, M. (2014). *Química ambiental* (2a. ed.). Editorial Reverté.
- Beamonte, E; Casino, A; Veres, E; Bermúdez, J. (2004). *Un indicador global para la calidad de agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana*. *Estadística Española*, 46(156): 357 – 384. www.ine.es/revistas/estaespa/156_6.pdf

- BVSDE (Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, Estados Unidos de América); PAHO (Organización Panamericana de la Salud, Estados Unidos de América).(2006). *E.coli_bacterias_termotolerantes* http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/Ecoli_bacterias_termo.pdf
- Campos Gomez, I. (2003). *Saneamiento Ambiental*. 1 Ed. Costa Rica, Universidad Estatal a distancia. Costa Rica.
- Canter, L. (1996). *Environmental Impact Assessment*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. ISBN0-07-0159018-1. 224 p.
- Cárdenas León, J. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Ecoe Ediciones.
https://www.google.com.pe/books/edition/Calidad_del_agua_para_estudiantes_de_cie/L2NtEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=determinaci%C3%B3n+de+la+calidad+del+agua&printsec=frontcover
- Castro Salazar, H. T. (2021). *Química ambiental básica*: (ed.). Editorial CORHUILA.
- Chang, R., Overby, J.(2020). *Química*. McGraw-Hill.
- Chaves, A; Guimarães, P; Cynamon, D. (2023). *Water quality indices: Construction, potential, and limitations. Ecological Indicators*, Vol. 157. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X23013298>
- Concytec. (2021). *Calidad del agua: salud de los ecosistemas y salud humana*. <https://repositorio.concytec.gob.pe/entities/publication/5e029779-f8a9-41b3-be23-69ef29f43c64>
- Cunningham, W. P., Cunningham, M. A., O'Reilly, C. M.(2023). *Principios de Ciencias Ambientales*. McGraw-Hill Interamericana.
<https://ebooks724.bibliotecaupn.elogim.com:443/?il=31459>
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. Diario Oficial El Peruano. Perú. 7 jun.
- Diario Oficial El Peruano. (2005). *Ley General del ambiente N° 28611*. Perú.
- Domènech, X., & Peral, J. (2012). *Química Ambiental de sistemas terrestres*. Barcelona: Reverté.
- EPA – Agencia de Protección Ambiental. (2024). *Glosario Ambiental Bilingüe*. <https://espanol.epa.gov/espanol/agua>
- EPA. (1997). *Method 300.1 Determination of Inorganic Anions In Drinking Water By Ion Chromatography*. National Exposure Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2015-08/documents/method_300-1_1997.pdf

- FAO. (2014). *El agua: el recurso más básico y a la vez el más indispensable*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/231226/>
- FAO. (2019). *Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo*. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/>
- Fernández, N., Solano, F. (2008). *Índices de Calidad y Contaminación del Agua*. Pamplona, Colombia, Universidad de Pamplona.
- Ghada Y. Zaghoul, Amira Y., Zaghoul, Mohamed A., Hamed, Khalid M., El-Moselhy, Heba M. Ezz El-Din. (2023). *Water quality assessment for Northern Egyptian lakes (Bardawil, Manzala, and Burullus) using NSF-WQI Index, Regional Studies in Marine Science*, Volume 64, ISSN 2352-4855, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103010>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485523001998>
- González, V; Caicedo, O; Aguirre, N. (2013). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia*. Gestión y Ambiente, vol. 16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169427489003>
- INEGI – Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). *Estudio de información integrada de la Cuenca Río Tula y otras*. – México.
- INRENA. (2007). *Inventario Participativo de Fuentes de Agua Superficial de la Cuenca Mashcon*. p23. <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/1755/ANA0000768.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Larios Meoño, F., González Taranco, C., y Morales Olivares, Y. (2016). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. Saber y Hacer*, 2(2), 8–25. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Lenntech. (2006). *Agua & Tratamiento del Aire Holding. Holanda*. Copyright © 1998-2008. e-mail: info@lenntech.com
- León L. (1991). *Índice de Calidad del Agua (ICA)*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Inf. SH-9101/01). México. 36 p.
- Lopez-Vazquez, C. M., Cervantes Carrillo, F.J., Buitrón Méndez, G., y Hernández García, H.A. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. Reino Unido: IWA Publishing. https://www.google.com.pe/books/edition/Tratamiento_biol%C3%B3gico_de_aguas_residual/lxNBDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=coliformes+termotolerantes&pg=PA254&printsec=frontcover

- Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Primera edición. Reverté.
- Marín, G. R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Marzelina, Mariana., Wibowo, Fachriah., Murshfiroh, Arini. (2022). *Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia*. Volume 8, Issue 7. ISSN 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022011367>.
- Matta, G., Nayak, A., Kumar, A. et al. (2020). *Evaluación de la calidad del agua utilizando NSFQI, OIP y técnicas multivariadas del sistema del río Ganges, Uttarakhand, India*. Appl Water Sci 10 , 206. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-01288-y>
- Méndez, P; Arcos, J; Cazorla X. (2020). *Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona*. Dom. Cien. Vol. 6, núm. 2, pp. 734-746. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7504260.pdf>
- MINAM. (2005). *Ley General del Ambiente – Ley N° 28611*. Publicada el 15 de octubre de 2005. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M., Myers, B. (2017). *Introducción de un índice de calidad del agua para evaluar el agua con fines de riego: un estudio de caso del río Ghezal Ozan*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.226>.
- Mupenzi, Christophe., Li, Lanhai., Nahayo, Lamek., Amanambu, Amobichukwu Chukwudi., Kayiranga, Alphonse., Karamage, Fidele., Ndayisaba, Felix., Nyesheja, Enan Muhire., Nsengiyumva, Jean Baptiste. (2017). *Spatial pattern assessment of Lake Kivu basin rivers water quality using National Sanitation Foundation Water Quality and Rivers Pollution Indices, Desalination and Water Treatment*. Volume 95. Pages 118-127. ISSN 1944-3986. <https://sciencedirect.bibliotecaupn.elogim.com/science/article/pii/S1944398624126951>
- Navas Cuenca, E. (Coord.). (2017). *Calidad de aguas: usos y aprovechamiento*: (ed.). Editorial ICB.
- Organismo de Evaluación y fiscalización ambiental – OEFA (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Primera Edición. Biblioteca Nacional del Perú.
- OMS. (2018). *E. coli: Datos y cifras*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- OMS. (2023). *Agua: Datos y cifras*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2023). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

- OPS. (1988). Guías Para la Calidad del Agua Potable. [https://www.google.com.pe/books/edition/Gu%C3%ADas para la calidad del agua potable/X9QgncMbnsYC?hl=es-419&gbpv=1&dq=M%C3%A9todo+de+los+tubos+m%C3%BAltiples.&pg=PA94&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Gu%C3%ADas%20para%20la%20calidad%20del%20agua%20potable/X9QgncMbnsYC?hl=es-419&gbpv=1&dq=M%C3%A9todo+de+los+tubos+m%C3%BAltiples.&pg=PA94&printsec=frontcover)
- Pasquali, R. C. (2020). *Química Ambiental*: (ed.). Jorge Sarmiento Editor - Universitas.
- Pradana Pérez, J. y García Avilés J. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable* Universidad Nacional de Educación a Distancia. [https://www.google.com.pe/books/edition/CRITERIOS DE CALIDAD Y GESTI%C3%93N DEL AGUA/ bOWDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/CRITERIOS%20DE%20CALIDAD%20Y%20GESTI%C3%93N%20DEL%20AGUA/bOWDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Ramalho, R. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté. [https://www.google.com.pe/books/edition/Tratamiento de aguas residuales/T9MfEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=oxigeno+disuelto+en+agua&pg=PA15&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales/T9MfEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=oxigeno+disuelto+en+agua&pg=PA15&printsec=frontcover)
- Ramos, Raudel; Sepúlveda, R y Villalobos, Francisco. (2003). *El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*. México. Editorial Plaza y Valdés.
- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. España. Marcombo Editores. [https://www.google.com.pe/books/edition/TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES AGUAS/fQcXUq9WFC8C?hl=es-419&gbpv=1&dq=solidos+totales+disuelto&pg=PA32&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20INDUSTRIALES%20AGUAS/fQcXUq9WFC8C?hl=es-419&gbpv=1&dq=solidos+totales+disuelto&pg=PA32&printsec=frontcover)
- Roldán Pérez, G., Ramírez Restrepo, J. J. (2018). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. [https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentos de limnolog%C3%ADa neotropical/FA5Jr7pXF1UC?hl=es&gbpv=1&dq=Fundamentos+de+limnolog%C3%ADa+neotropical.&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentos%20de%20limnolog%C3%ADa%20neotropical/FA5Jr7pXF1UC?hl=es&gbpv=1&dq=Fundamentos+de+limnolog%C3%ADa+neotropical.&printsec=frontcover)
- Rodríguez, R. (2021). *Análisis de la calidad del agua en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, Perú*. Veritas Et Scientia, vol. 10. <https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/vestsc/article/view/568/503>
- Roohollah Noori, Ronny Berndtsson, Majid Hosseinzadeh, Jan Franklin Adamowski, Maryam Rabiee Abyaneh. (2019). *A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index, Environmental Pollution*, Volume 244, , Pages 575-587, ISSN 0269-749 <https://sciencedirect.bibliotecaupn.elogim.com/science/article/pii/S0269749118304627>
- Samboni, N; Carvajal, Y; Escobar, J. (2007). *Parámetros Fisicoquímicos como Indicadores de Calidad y Contaminación del Agua*, Estado del Arte. Ingeniería e Investigación, 27(1): 172 – 181.
- Sedano, R. 2014. *Evaluación del índice de calidad del agua para consumo humano mediante el método NSF en la microcuenca del río Chía – Junín*. Huancayo, Perú.

- Sierra Ramírez, C. A. (2018). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*: (ed.). Ediciones de la U. <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/70981?page=1>
- Singh, R; Andaluri, G; Pandey, VC (2022). *Contaminación del agua en las ciudades: desafíos y controles*. En: Pandey, VC (Ed). *Algas y macrófitos acuáticos en las ciudades: biorremediación, biomasa, biocombustibles y bioproductos*. Elsevier Science, Nueva York.
- Unicef (2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable*. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>
- Vesga, Fidson; Venegas, Camilo; Flórez, Valentina; Sánchez, Andrea; Trespalacios, Alba. (2024) Origin of fecal contamination in lettuce and strawberries: From microbial indicators, molecular markers, and H. pylori, Heliyon. Volume 10. ISSN 2405-8440. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024125571>
- Vesilind, P. A., Heine, L. G., Morgan, S. M. (2013). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Cengage Learning. <https://ebooks724.bibliotecaupn.elogim.com:443/?il=801>
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2019). *Performance of seven water quality indices (WQIs) in a mediterranean river*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(8) doi:10.1007/s10661-019-7652-4

CAPÍTULO VII

APÉNDICES

Figura 17

Ubicación geográfica del punto de muestreo 1 (RMash1)- Sector Huambocancha Baja



Figura 18

Toma fotográfica del punto de muestreo 1 (RMash1)- Sector Huambocancha Baja



Figura 19

Ubicación geográfica del punto de muestreo 2 (RMash2)- Sector La Molina

**Figura 20**

Toma fotográfica del punto de muestreo 2 (RMash2)- Sector La Molina



Figura 21

Ubicación geográfica del punto de muestreo 3 (RMash3)- sector Bella Unión

**Figura 22**

Toma fotográfica del punto de muestreo 3 (RMash3)- sector Bella Unión



Figura 23

Curva de valoración de la calidad de agua en función de pH

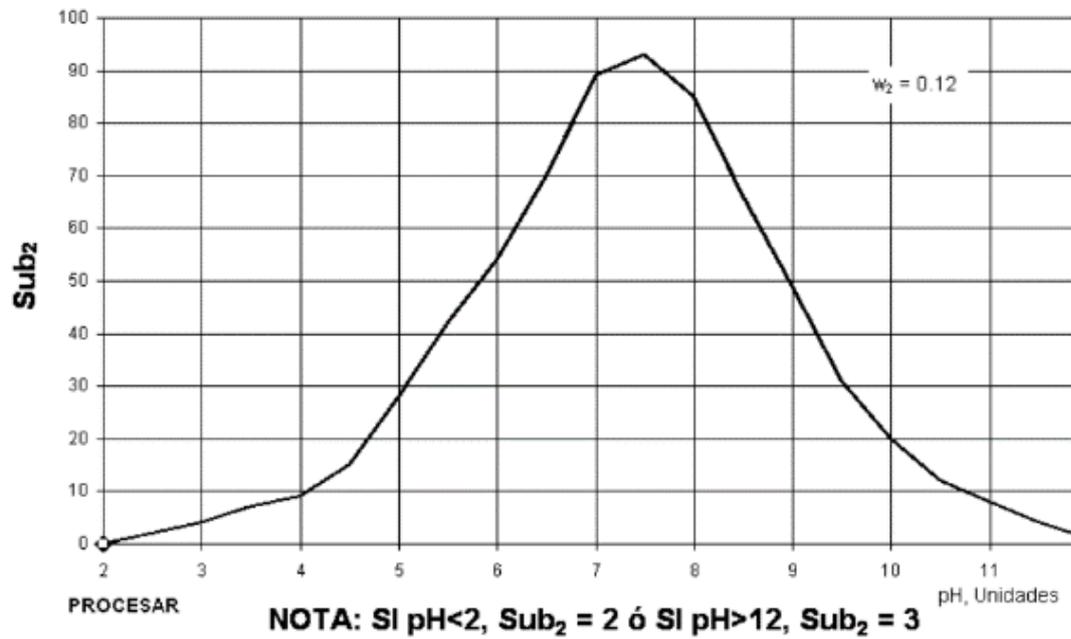


Figura 24

Curva de valoración de la calidad de agua en función de la DBO₅

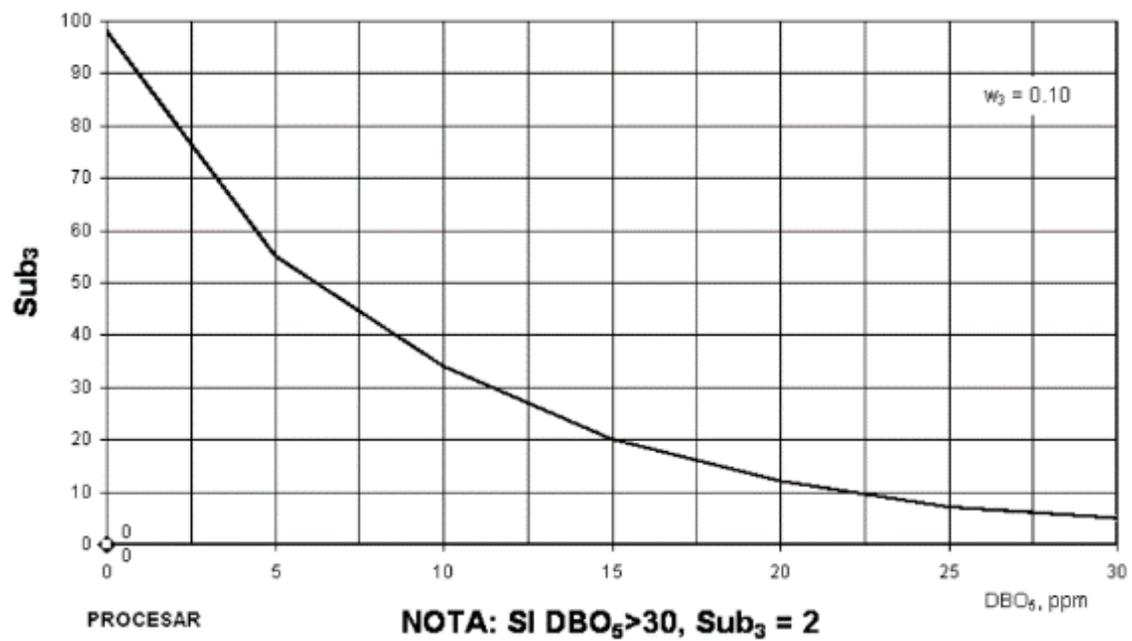


Figura 25

Curva de valoración de la calidad de agua en función de iones nitratos (NO_3)⁻

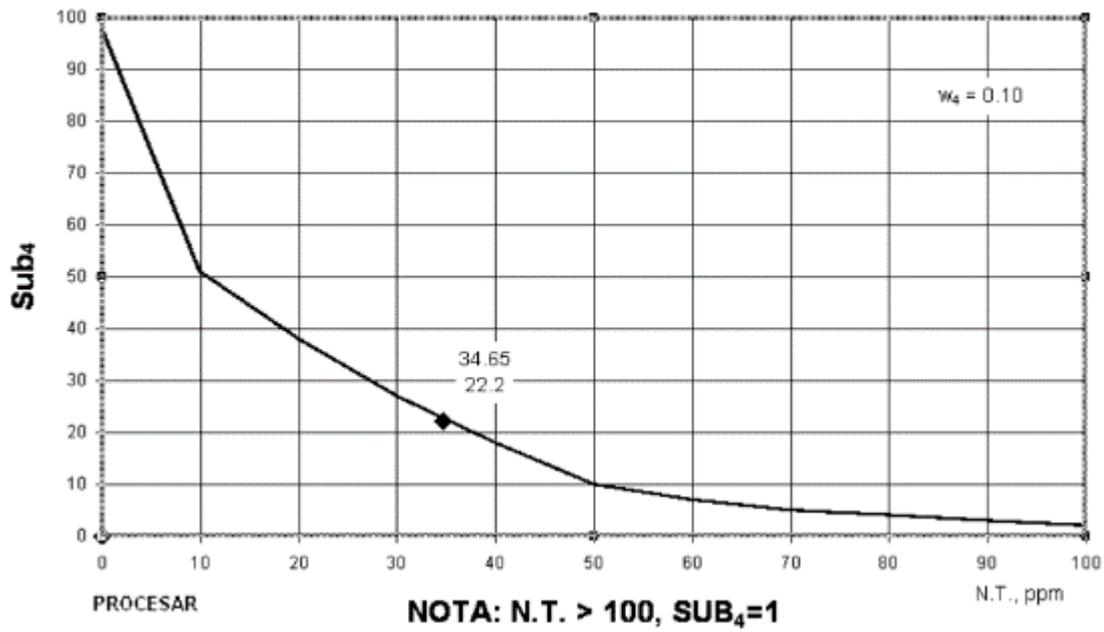


Figura 26

Curva de valoración de la calidad de agua en función de la turbidez

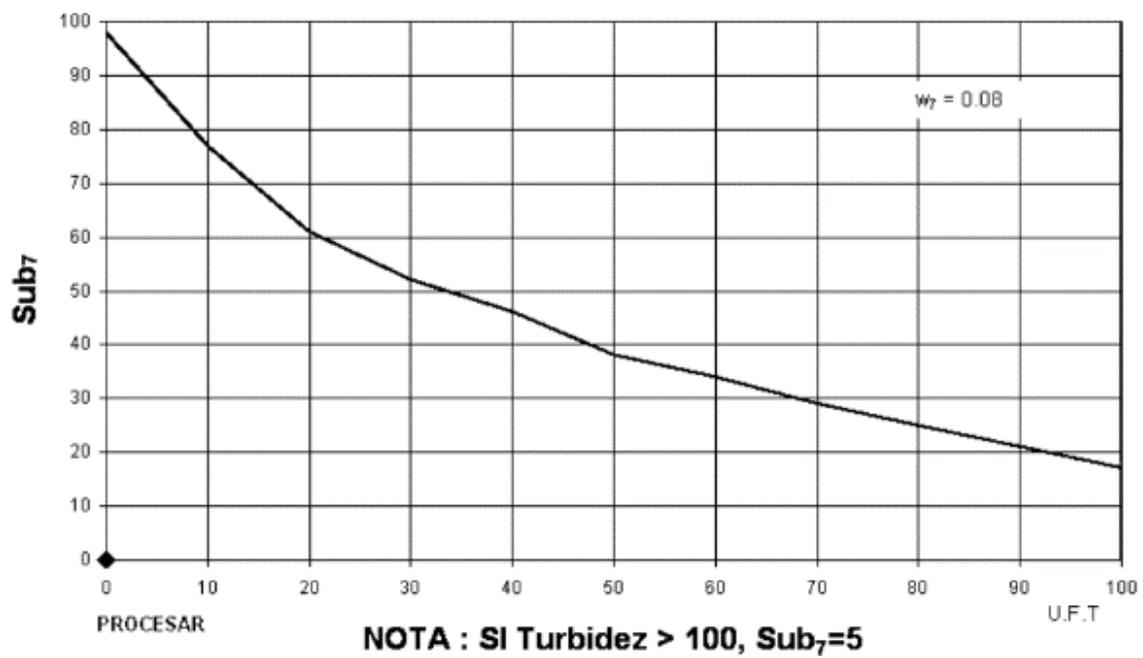


Figura 27

Curva de valoración de la calidad de agua en función de la temperatura

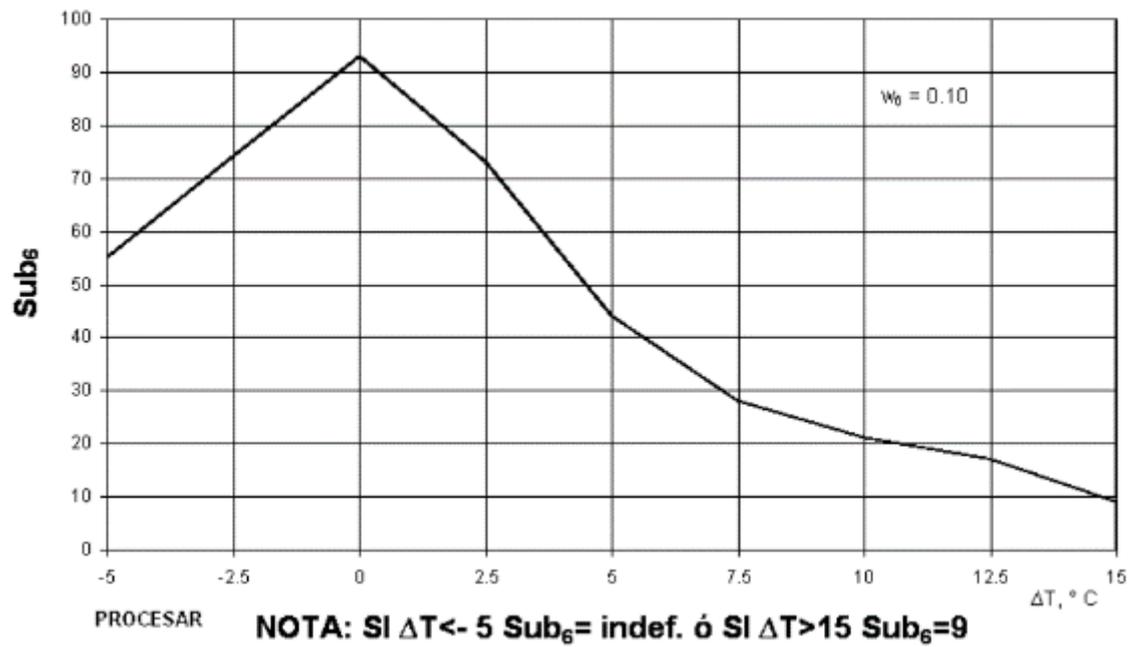


Figura 28

Curva de valoración de la calidad de agua en función del residuo total

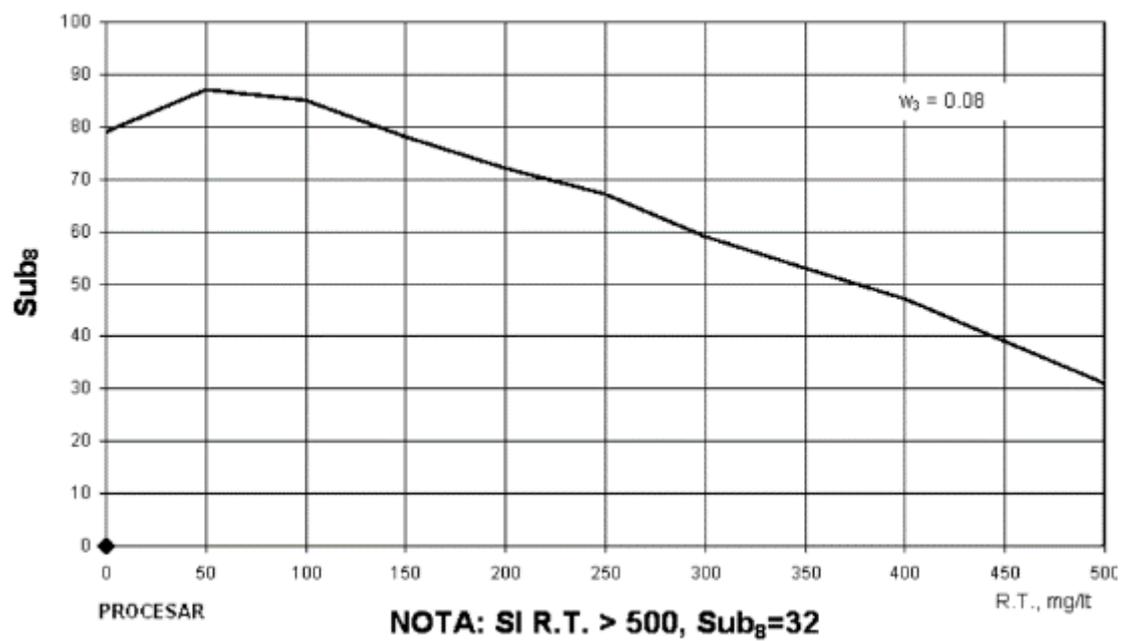
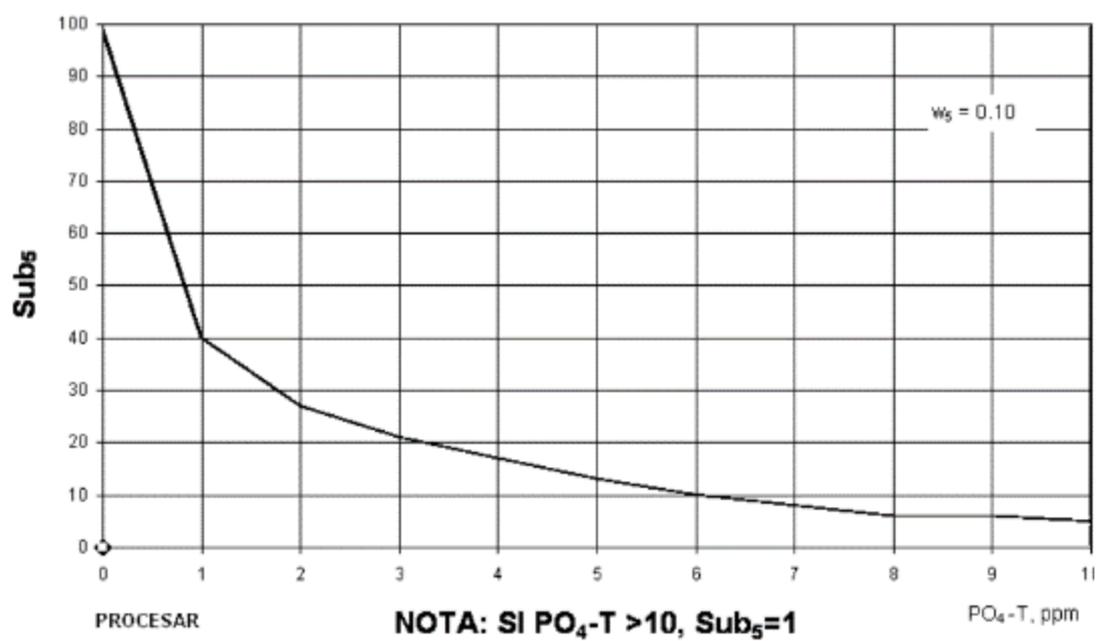


Figura 29

Curva de valoración de la calidad de agua en función de los iones fosfatos



ANEXOS

Figura 30

Resultados del Laboratorio Regional de Cajamarca

INFORME DE ENSAYO N° IE 0120019

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **LUIS VARGAS PORTALES**
Dirección **Jr. Los Alisos 474**
Persona de contacto - Correo electrónico **lavp_1174@hotmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **12.01.20** Hora de Muestreo **12:30 a 16:00**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **03**
Ensayos solicitados **FÍSICOQUIMICOS y MICROBIOLÓGICOS**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **CAJAMARCA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 020** Cadena de Custodia **CC - 019 - 20**
Fecha y Hora de Recepción **13.01.20 08:00** Inicio de Ensayo **13.01.20 08:15**
Reporte Resultado **22.01.20 15:00**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028



Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264



Enver Zulueta Santa Cruz
Especialista de Biología
CBP:9778

Cajamarca, 22 de Enero de 2020.

Página: 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N° IE 0120019

ENSAYOS			FÍSICOS - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			R mash 1	R mash 2	R mash 3	-	-	-
Código Laboratorio			0120019-01	0120019-02	0120019-03	-	-	-
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra			Río mashcón - Cajamarca	Río mashcón - Cajamarca	Río mashcón - Cajamarca	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	3.377	3.871	7.334	-	-	-
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	0.214	0.203	0.275	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	8.755	8.846	7.354	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	254.9	257.2	222.6	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Turbidez	NTU	0.09	9.03	9.97	8.14	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	5.78	6.56	6.77	-	-	-
(*)Sólidos Totales	mg/L	2.5	524.0	526.0	516.0	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	<LCM	<LCM	6.87	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O2/L	0.5	6.9	5.9	3.2	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	16 x 10 ²	35 x 10 ²	54 x 10 ²	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 22 de Enero de 2020.

Página: 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N° IE 0120019

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrate, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H+.B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Sólidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017: Solids. Total Solids Dried at 103–105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

(*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 22 de Enero de 2020.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



INFORME DE ENSAYO N° IE 0620203

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **LUIS VARGAS PORTALES**
Dirección -
Persona de contacto **Jr. Los Alisos 474** Correo electrónico **lavp_1174@hotmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **15.06.20** Hora de Muestreo **10:21 a 12:50**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **03**
Ensayos solicitados **Físicoquímicos y Microbiológicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **RÍO MASHCON**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 344** Cadena de Custodia **CC - 203 - 20**
Fecha y Hora de Recepción **15.06.20 13:52** Inicio de Ensayo **15.06.20 14:05**
Reporte Resultado **24.06.20 10:15**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264

Enver Zulueta Santa Cruz
Especialista de Biología
CBP:9778

Cajamarca, 24 de Junio de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620203

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			R Mash 1	R Mash 2	R Mash 3	-	-	-
Código Laboratorio			0620203-01	0620203-02	0620203-03	-	-	-
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra			Huambocancha Baja	La Molina	Bella Unión	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	2.673	4.063	16.89	-	-	-
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	4.697	3.553	<LCM	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	309.3	303.2	108.5	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	2.392	-	-	-
Turbidez	NTU	0.09	6.06	1.66	21.35	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.56	8.08	7.28	-	-	-
(*) Sólidos Totales	mg/L	2.5	626.0	643.0	559.0	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	<LCM	<LCM	53.1	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O2/L	0.5	6.530	7.220	<LCM	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	280	540	35 x 10 ²	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 24 de Junio de 2020.

Página: 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620203

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Sólidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. 23rd Ed. 2017. Solids. Total Solids Dried at 103–105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B. 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"



Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 24 de Junio de 2020.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321028

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **LUIS VARGAS PORTALES**
Dirección **Jr. Los Alisos 474-Cajamarca**
Persona de contacto - Correo electrónico **lavp_1174@hotmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **16.10.20** Hora de Muestreo **08:25 a 12:59**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **03**
Ensayos solicitados **Fisicoquímicos y Microbiológicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **CAJAMARCA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 255** Cadena de Custodia **CC - 150 - 21**
Fecha y Hora de Recepción **16.10.20 13:30** Inicio de Ensayo **21.10.20 11:45**
Reporte Resultado **21.10.20 14:00**

FIRMA DIGITAL

CIC

Firmado digitalmente por NEYRA
JAGD Edder Miguel FAU
20453744188 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.03.2021 14:39:10 -05:00

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 21 de Octubre de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321028

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código de la Muestra	Río Mashcon 01		Río Mashcon 02	Río Mashcon 03	-	-	-	
Código Laboratorio	0321150-01		0321150-02	0321150-03	-	-	-	
Matriz	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-	-	
Descripción	Superficial		Superficial	Superficial	-	-	-	
Localización de la Muestra	Río Mashcon Huambocancha Baja		Río Mashcon La Molina	Río Mashcon Bella Unión	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	0.071	0.085	0.079	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	2.423	2.522	3.582	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	0.051	0.052	0.150	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	3.360	2.735	0.887	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	115.1	135.6	158.7	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	1.212	-	-	-
Turbidez	NTU	0.09	116.0	117.0	104.42	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.57	7.93	7.50	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	2.5	614.0	658.0	567.0	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	4.5	4.9	29.8	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.565	6.90	3.5	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1540	7270	86750	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU
20453744158.sdf
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 23.03.2021 14:36:20 -05:00



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU
20453744158.sdf
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 23.03.2021 14:36:20 -05:00

Cajamarca, 21 de Octubre de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321028

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **LUIS VARGAS PORTALES**
Dirección **Jr. Los Alisos 474-Cajamarca**
Persona de contacto - Correo electrónico **lavp_1174@hotmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **16.10.20** Hora de Muestreo **08:25 a 12:59**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **03**
Ensayos solicitados **Fisicoquímicos y Microbiológicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **CAJAMARCA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 255** Cadena de Custodia **CC - 150 - 21**
Fecha y Hora de Recepción **16.10.20 13:30** Inicio de Ensayo **21.10.20 11:45**
Reporte Resultado **21.10.20 14:00**

FIRMA DIGITAL
GRUPO CAJAMARCA

Firmado digitalmente por NEYRA
JAICO Edder Miguel FAU
20453744198 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.03.2021 14:39:10 -05:00

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 21 de Octubre de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321150

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	LUIS VARGAS PORTALES		
Dirección	Jr. Los Alisos 474-Cajamarca		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	lavp_1174@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	12.03.21	Hora de Muestreo	08:25 a 10:59
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	03		
Ensayos solicitados	Fisicoquimicos y Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación		
Referencia de la Muestra:	CAJAMARCA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 255	Cadena de Custodia	CC - 150 - 21
Fecha y Hora de Recepción	12.03.21	Inicio de Ensayo	12.03.21 11:45
Reporte Resultado	23.03.21		14:00



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 23 de Marzo de 2021.

Página: 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321150

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código de la Muestra			Río Mashcon 01	Río Mashcon 02	Río Mashcon 03	-	-	-
Código Laboratorio			0321150-01	0321150-02	0321150-03	-	-	-
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra			Río Mashcon Huambocancha Baja	Río Mashcon La Molina	Río Mashcon Bella Unión	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	0.077	0.078	0.087	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	2.473	2.612	4.258	-	-	-
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	0.056	0.063	0.150	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	2.024	1.917	1.711	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	135.1	135.6	138.7	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Turbidez	NTU	0.09	226.0	233.0	187.5	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.58	7.78	7.70	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	2.5	602.0	674.0	575.5	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	6.4	7.3	6.5	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.9	6.6	6.7	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	28 x 10 ²	14 x 10 ³	17 x 10 ⁴	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 23 de Marzo de 2021.