

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL



**EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN LA CALIDAD DE AGUA
PARA CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO DE PUERTO PIZANA,
SAN MARTÍN, PERÚ.**

TESIS

Para optar el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIA EN AGROECOLOGÍA,
MECION: GESTION AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

ELVIS RODNEY GUEVARA VILLANUEVA

**Tingo María – Perú
2023.**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 010-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 06:00 p.m. del viernes 15 de setiembre de 2023, reunidos de manera presencial en el auditorio de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO DE PUERTO PIZANA, SAN MARTIN, PERU".

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **ELVIS RODNEY, GUEVARA VILLANUEVA**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **07:58 p.m** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
Presidente del Jurado

.....
Ing. M.Sc. ERLE OTTO J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO
Miembro del Jurado

.....
Ing. M.Sc. ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA
Asesor





“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 170 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Maestría en Gestión Ambiental

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO DE PUERTO PIZANA, SAN MARTÍN, PERÚ.	ELVIS RODNEY GUEVARA VILLANUEVA	24 % Veinticuatro

Tingo María, 27 de mayo de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL



**EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN LA CALIDAD DE AGUA
PARA CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO DE PUERTO PIZANA,
SAN MARTÍN, PERÚ.**

Autor : Elvis Rodney Guevara Villanueva

Asesor : Ing. M.Sc. Alberto Franco Cerna Cueva

Programa de investigación : Gestión Ambiental

Línea de investigación : Sistemas de Gestión

Eje temático : Sistemas de tratamiento de agua potable

Lugar de ejecución : Centro Poblado Puerto Pizana

Duración : 6 meses

Financiamiento : S/ 4,454.50

Tingo María – Perú

2024.



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OPTENCION DEL
GRADO ACADEMICO DE MAESTRO, INVESTIGACION
DOCENTE Y TESIS TA**

I. Datos Generales de Posgrado

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Escuela de posgrado	: EPG-UNAS.
Posgrado	: Maestría en Ciencias en Agroecología
Mención	: Gestión Ambiental
Eje temático	: Sistemas de tratamiento de agua potable
Título de la tesis	: Eficiencia del Sistema de Tratamiento en la Calidad de Agua para Consumo Humano en el Centro Poblado de Puerto Pizana, San Martín, Perú.
Autor	: Elvis Rodney Guevara Villanueva
Asesor de tesis	: Ing. M.Sc. Alberto Franco Cerna Cueva
Programa de investigación	: Gestión Ambiental
Línea de investigación	: Sistemas de Gestión
Eje temático	: Sistemas de tratamiento de agua potable
Lugar de ejecución	: Centro Poblado Puerto Pizana
Duración	: Inicio : Abril 2022 Término : Septiembre 2022
Financiamiento	: FEDU : S/ 0.00 Propio : S/ 4,454.50 Otros : S/ 0.00

Tingo María – Perú, mayo 2024.

Elvis Rodney Guevara Villanueva
Tesista

Ing. M.Sc. Alberto Franco Cerna Cueva
Asesor

DEDICATORIA

A Dios; por darme la vida y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, además de su infinita bondad y misericordia.

A mis queridos padres Roberto Guevara Rocha y Santos Flor Villanueva Huamán, por su inmenso amor, dedicación, entrega y apoyo incondicional, perfectamente mantenido a través del tiempo de mi formación profesional.

A mis hermanas Elita y Flor Denisse; que han mostrado siempre su parte más cariñosa al brindarme su apoyo, confianza y motivación para ser cada día mejor.

A mi pequeña Danna Valentina Guevara Neira quien, a su corta edad, no entenderá estas palabras, pero para cuando sea capaz, sabrá que su ternura y sonrisa fueron mi motor, para hacer realidad la presente investigación.

A mis tíos, primos y demás familiares, que cooperaron a que los emprendimientos que alguna vez fueron solo ideas se materialicen y se conviertan en una realidad.

AGRADECIMIENTOS

Durante el proceso de mi formación personal, profesional y desarrollo de la presente investigación, diversas personas colaboraron de manera directa e indirecta, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento.

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, “alma mater” de mi formación profesional, cuyas aulas me acogieron hasta la culminación de mi carrera profesional.
- A los docentes de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que fueron ejemplo de perseverancia al momento de inculcar sus conocimientos y experiencias en mi persona.
- Al M.Sc. Alberto Franco CERNA CUEVA, quien me brindó su incomparable asesoramiento en la presente investigación. Por su paciencia, empeño, puntualidad y responsabilidad; cualidades que admiro en su persona.
- A mis amigos y compañeros de trabajo: Edwin Néstor CASTRO DÁVILA, Rosember Ledín VELASQUEZ MORILLO, Rocío Isabel LOPEZ PAREDES y William CAJO VELA, por su valioso apoyo en el trabajo de investigación.
- A Nilva Millena BUSTAMANTE FLORES, quién me inspira cada día a ser una mejor persona, cimiento principal en la construcción de mi vida profesional, por reflejar virtudes infinitas y muestra de un gran corazón, que me llevan a admirarla y amarla cada día más.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. MARCO TEÓRICO	3
2.1.1. Agua	3
2.1.2. Calidad de agua	4
2.1.3. Reglamento de calidad de agua para consumo humano	4
2.1.4. Límites Máximos Permisibles de agua para consumo humano	5
2.1.5. Situación del agua potable en el país	6
2.1.6. Agua para consumo humano en la región San Martín	7
2.1.7. Sistemas de abastecimiento de agua potable	8
2.1.8. Tratamiento de agua para consumo humano	8
2.2. ESTADO DEL ARTE	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	11
3.1.1. Ubicación Geográfica	11
3.1.2. Ubicación política	11
3.1.3. Límites	11
3.1.4. Vías de acceso	11
3.1.5. Condiciones climatológicas	12
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.2.1. Materiales y equipos	12
3.2.2. Metodología	13
3.3. VARIABLES	22
3.3.1. Variable independiente (X)	22
3.3.2. Variable dependiente (Y)	22
3.3.3. Operacionalización de variables	22
3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.6. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	24

3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA	24
3.7.1. Población	24
3.7.2. Muestra	24
3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	26
4.1. CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD	26
4.1.1. Captación	26
4.1.2. Planta de tratamiento	34
4.1.3. Reservorio.....	34
4.1.4. Red de distribución	40
4.2. ÍNDICE DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN	46
4.2.1. Índice de Calidad	46
4.2.2. Índice de Contaminación	49
4.3. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	49
V. CONCLUSIONES	51
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pagina
1. Indicadores de la Calidad del Agua para el Consumo Humano	4
2. Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos	5
3. Límites Máximos Permisibles de Calidad Organoléptica.	5
4. Puntos de muestreo.	13
5. Parámetros fisicoquímicos para muestreo	15
6. Parámetros microbiológicos para muestreo.	16
7. Límite Máximo Permisible (LMP) para parámetros fisicoquímicos	16
8. Límite Máximo Permisible (LMP) para parámetros microbiológicos	17
9. Calificación del índice de la calidad del agua.	19
10. Función del subíndice de los parámetros involucrados en el ICO.	21
11. Clasificación de la contaminación del agua mediante el ICO	21
12. Eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable	22
13. Operacionalización de variables	23
14. Valores encontrados de los monitoreos 2022 – I y 2022 – II para la Captación (PMC), el Reservorio (PMR), la Planta de Tratamiento (PMPT) y la Red de Distribución (PMRD)	45
15. Puntajes de calidad ICA e ICO para el agua como fuente, para consumo directo e intensidad de contaminación orgánica	50

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
1. Ubicación del Centro Poblado Puerto Pizana	11
2. Parámetros de calidad hallados en la Captación para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM	26
3. Parámetros de calidad hallados en la Planta de Tratamiento para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM.....	37
4. Parámetros de calidad hallados en el Reservorio para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 031 – 2010 – SA	34
5. Parámetros de calidad hallados en la Red de Distribución para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 031 – 2010 – SA	41
6. Índice de Calidad de Agua (ICA – PE) aplicando como norma estándar el DS. N° 004 – 2017 – MINAM	46
7. Excedentes normalizados de los parámetros monitoreados en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución con respecto al DS. N° 004 – 2017 – MINAM.....	47
8. Índice de Calidad de Agua (ICA – PE) aplicando como norma estándar el DS. N° 031 – 2010 – SA.....	48
9. Excedentes normalizados de los parámetros monitoreados en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución con respecto al DS. N° 031 – 2010 – SA.....	48
10. Índices de contaminación (ICO) para los dos periodos de monitoreo	49
11. Recolección de las muestras de agua en la captación.....	58
12. Rotulado y embalado de las muestras de agua en la captación.....	58
13. Recolección de las muestras de agua en la planta de tratamiento.....	59
14. Recolección de las muestras de agua en el reservorio.....	59
15. Recolección de las muestras en la red de distribución.....	60
16. Embalado final de las muestras de agua.....	60

RESUMEN

El estudio en cuestión se centró en la evaluación de la calidad del agua en Puerto Pizana a lo largo de dos periodos: 2022-1 y 2022-2. Para llevar a cabo este análisis, se examinaron un total de 28 parámetros que abarcaban aspectos microbiológicos, fisicoquímicos y de organismos de vida libre. Estos se evaluaron en cuatro etapas del proceso de suministro de agua: captación, tratamiento, reservorio y distribución, siguiendo las pautas de organizaciones prestigiosas como la Organización Panamericana de la Salud y el American Public Health Association, entre otros. Además, se emplearon índices de calidad conforme a la metodología de la Autoridad Nacional del Agua y contaminación orgánica. Los resultados del estudio mostraron que la mayoría de los parámetros cumplían con las regulaciones peruanas DS N° 004 – 2017 – MINAM (que regula la calidad del agua como fuente con algunas excepciones, como el oxígeno disuelto en la captación en el periodo 2022-I, sin embargo, al comparar los parámetros con el DS N° 031 – 2010 – SA (que establece la calidad del agua para consumo humano), los parámetros no cumplían los estándares en la captación, planta de tratamiento y red de distribución, principalmente en los parámetros microbiológicos llegando a sobrepasar la norma hasta en 14 veces. Los índices de calidad del agua resultaron excelentes en todos los puntos de monitoreo según la norma DS N° 004 – 2017 – MINAM, lo que indica una adecuada calidad de agua como fuente. No obstante, bajo la norma DS N° 031 – 2010 – SA, la calidad fue regular en la captación, planta de tratamiento y reservorio, pero excelente en la red de distribución, lo que pone en relieve la efectividad del tratamiento. El índice de contaminación orgánica fue generalmente bajo, a excepción de la saturación de oxígeno, que mostró sensibilidad a las variaciones de temperatura. En conclusión, la planta de tratamiento demostró una alta eficiencia, mejorando significativamente la calidad del agua desde la captación hasta la distribución. A pesar de los buenos resultados generales, los parámetros que excedieron los límites establecidos evidencian la necesidad de mejorar la desinfección antes del consumo humano. Este estudio subraya la importancia de un monitoreo y tratamiento adecuados del agua para garantizar su calidad y seguridad.

Palabras clave: calidad de agua, consumo humano, normativa, índice, monitoreo

ABSTRACT

The study in question focused on assessing the quality of water in Puerto Pizana over two periods: 2022-1 and 2022-2. To carry out this analysis, a total of 28 parameters were examined, encompassing microbiological aspects, physicochemical aspects, and free-living organisms. These were evaluated at four stages of the water supply process: capture, treatment, reservoir, and distribution, following the guidelines of prestigious organizations such as the Pan American Health Organization and the American Public Health Association, among others. Additionally, quality indices were used in accordance with the methodology of the National Water Authority and organic pollution. The study's results showed that most of the parameters complied with Peruvian regulations DS N° 004 – 2017 – MINAM (which regulates the quality of water as a source, with a few exceptions, such as dissolved oxygen in capture in the 2022-I period). However, when comparing the parameters with DS N° 031 – 2010 – SA (which establishes the quality of water for human consumption), the parameters did not meet the standards at the capture, treatment plant, and distribution network stages, mainly in the microbiological parameters, exceeding the norm by up to 14 times. The water quality indices were excellent at all monitoring points according to DS N° 004 – 2017 – MINAM, indicating an adequate quality of water as a source. However, under DS N° 031 – 2010 – SA, the quality was regular at the capture, treatment plant, and reservoir, but excellent at the distribution network, highlighting the effectiveness of the treatment. The organic pollution index was generally low, with the exception of oxygen saturation, which showed sensitivity to temperature variations. In conclusion, the treatment plant demonstrated high efficiency, significantly improving the water quality from capture to distribution. Despite the overall good results, the parameters that exceeded the established limits highlight the need to improve disinfection before human consumption. This study underscores the importance of adequate water monitoring and treatment to ensure its quality and safety.

Keywords: water quality, human consumption, regulation, index, monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

Durante el año 2021, el Área Técnica Municipal (ATM) de la alcaldía de Pólvora efectuó un análisis de la fuente de suministro de agua en la localidad de Puerto Pizana. Los hallazgos mostraron discrepancias en ciertos aspectos evaluados, especialmente respecto a las normativas del DS N° 031-2010-SA sobre la calidad del agua para consumo humano. Esto ha causado inquietud entre los consumidores y ha llevado a demandas para que la entidad comunitaria a cargo del sistema de suministro de agua potable realice las debidas tareas de limpieza y desinfección.

En departamento de San Martín, varias comunidades aún carecen de un sistema adecuado de provisión de agua. En algunos casos, la falta de un tratamiento de agua efectivo ha permitido un aumento en las enfermedades gastrointestinales y otros problemas de salud.

Según un informe del 2020 de la Superintendencia Nacional de Agua y Saneamiento (SUNASS), se ha observado la presencia bacteriana en las pruebas de calidad de agua. También se reportó que, en cuanto a la regulación de aspectos bacteriológicos, químicos y físicos, un 0,255% de las muestras bacteriológicas y un 3,84% de las fisicoquímicas excedieron los estándares permitidos.

En vista de los problemas identificados tanto en la comunidad específica como en la región de San Martín en general, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es la eficiencia del sistema de tratamiento en la calidad de agua para consumo humano en Puerto Pizana, San Martín, Perú?

Los métodos de tratamiento de agua, que pueden ser físicos, químicos o biológicos, son esenciales para minimizar la contaminación. Dada la creciente demanda global y considerando que el acceso al agua limpia es un derecho humano básico, es crucial evaluar la calidad del agua para asegurar su seguridad y promover la salud pública.

En el marco de este estudio, se pretende evaluar la efectividad del sistema de tratamiento de agua en la calidad del líquido vital para los habitantes de Puerto Pizana, en el departamento de San Martín, Perú. Esto permitirá no solo describir la calidad del agua que actualmente consume la comunidad, sino también destacar las ventajas de tener un sistema de tratamiento eficaz.

En relación con la problemática definida, se formula la hipótesis siguiente: “La efectividad del sistema de tratamiento ejerce un fuerte impacto en la calidad del agua destinada al consumo humano en Puerto Pizana, San Martín, Perú”.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento en la calidad de agua para consumo humano en Puerto Pizana, San Martín, Perú.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el nivel de cumplimiento de la normativa sanitaria para agua de consumo humano en función de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el sistema de agua potable de Puerto Pizana (captación, planta de tratamiento, reservorio y red de distribución).
- Determinar el índice de calidad de agua (ICA) e índice de contaminación (ICO) en base a sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en los componentes captación y red de distribución del sistema de agua potable de Puerto Pizana.
- Determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable de Puerto Pizana.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Agua

El agua, en su fórmula química H₂O, no es solo una molécula común, sino la base de toda la vida en la Tierra. Sus propiedades únicas lo convierten en un solvente excepcional y un participante crucial en muchas reacciones bioquímicas. A pesar de su abundancia en la naturaleza, el acceso al agua potable limpia y segura sigue siendo un desafío en muchas partes del mundo. Este informe se enfoca en la importancia del agua como recurso vital para el consumo humano, los desafíos en su gestión y los avances científicos y tecnológicos para garantizar su calidad y disponibilidad.

El agua potable es esencial para la salud y el bienestar humano. Es necesaria para la digestión y absorción de alimentos, la regulación de la temperatura corporal y el transporte de nutrientes y oxígeno a las células, entre otras funciones vitales. Además, la calidad del agua tiene un impacto directo en la salud pública, ya que el agua contaminada es una fuente común de enfermedades como cólera, disentería y otras infecciones gastrointestinales.

A pesar de su importancia, el acceso universal al agua limpia y segura es un objetivo aún no alcanzado. Las fuentes de agua potable son cada vez más escasas debido a la contaminación, el desarrollo industrial y los efectos del cambio climático. Las normativas como la RM N° 591-2008/MINSA y el DS N° 031-2010-SA – DIGESA buscan establecer estándares de calidad, pero su implementación y cumplimiento son desafiantes.

La ciencia y la tecnología juegan un papel crucial en la solución de estos desafíos. Los avances en tratamientos de purificación, como la ósmosis inversa y la filtración avanzada, ofrecen nuevas posibilidades para el tratamiento del agua. Además, herramientas como el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Contaminación (ICO) ayudan a evaluar y monitorear la calidad del agua de manera más precisa, permitiendo una mejor planificación y gestión de los recursos hídricos.

El agua es un recurso irremplazable para el consumo humano y, por lo tanto, es fundamental asegurar su calidad y disponibilidad para todos. La combinación de una reglamentación sólida, avances tecnológicos y una gestión eficaz puede garantizar que este recurso vital sea accesible de forma segura y sostenible para las generaciones futuras (Bhateria & Jain, 2016)

2.1.2. Calidad de agua

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que el agua potable es inherentemente segura para la salud si se consume de manera convencional y durante un período extendido. Dependiendo de su origen y tratamiento, el agua puede tener diferentes propiedades, que pueden ser categorizadas en términos químicos, biológicos y físicos. Los aspectos biológicos son indicadores claves de la aptitud del agua para un propósito específico. La Tabla 1 muestra los principales indicadores biológicos, químicos y físicos que se emplean para evaluar la idoneidad del agua (OMS, 2004)

Tabla 1. Indicadores de la Calidad del Agua para el Consumo Humano

Parámetros	Descripción
Físicos	Sólidos o residuos, color, turbidez, sabor, olor y temperatura
Químicos	aceites y grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, sodio
Biológicos	Coliformes termotolerantes, totales, virus, helmintos patógenos.

Fuente: (OMS, 2004)

2.1.3. Reglamento de calidad de agua para consumo humano

El Reglamento actual (DS N. 031-2010-SA) define las pautas generales relacionadas con el manejo de la calidad del agua destinada al consumo humano. Su objetivo es asegurar que el agua sea segura para beber, minimizar los riesgos sanitarios y fomentar la salud y el bienestar de la población. La autoridad nacional encargada de supervisar la calidad del agua para consumo humano es el Ministerio de Salud, que actúa a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). A nivel regional, la responsabilidad recae en las Direcciones Regionales de Salud (DIRESA) o Gerencias Regionales de Salud (GRS), y en el caso de Lima, en las Direcciones de Salud (DISA) (DS N° 031 - 2010 - SA, Reglamento de La Calidad Del Agua Para Consumo Humano, 2011).

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA), según el D.S N° 004-2017-MINAM, especifican los niveles aceptables de concentración de elementos, así como de parámetros físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de agua, con el fin de que no constituyan un peligro para la salud humana ni para el entorno ecológico (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias, 2017).

Adicionalmente, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental categorizan los cuerpos de agua en el país según sus usos potenciales, ya sean terrestres o marítimos. En el caso del pozo ubicado en el campamento Nuevo Mundo, se utilizará como

referencia la Categoría 1: A2, que se aplica a aguas aptas destinadas a la producción de agua potable y que pueden ser potabilizadas con un tratamiento convencional. La Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, que entró en vigor el 31 de marzo de 2009, tiene como propósito regular la gestión y uso integrado del agua. Esta ley también establece la forma en que el Estado y los particulares deben participar en la gestión de los recursos hídricos, con el fin de alcanzar una gestión sostenible y eficiente por cuencas hidrográficas y acuíferos, así como para proteger la calidad del agua.

2.1.4. Límites Máximos Permisibles de agua para consumo humano

2.1.4.1. Parámetros microbiológicos

Se refiere a microorganismos que sirven como señales de contaminación y/o que son dañinos para la salud humana cuando se encuentran en el agua destinada para consumo humano. (DIGESA, 2011)

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológico

Parámetros	Unidad de Medida	LMP
1. Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL 35°C	0(*)
2. E. Coli	UFC/100 mL 44.5°C	0(*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL 44.5°C	0(*)
4. Bacterias heterotróficas	UFC/100 mL 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre. como algas. protozoarios, copépodos. rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

Fuente: DIGESA (2011)

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = <1.8 / 100ml

2.1.4.2. Parámetros organolépticos

Se trata de indicadores físicos, químicos y microbiológicos en el agua potable que el consumidor podría notar a través de sus sentidos (DIGESA, 2011).

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Calidad Organoléptica.

Parámetros	Unidad de Medida	LMP
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable

Parámetros	Unidad de Medida	LMP
3. Color.	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg/l-1	1 000
8. Cloruros	mg Cl-L-1	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ = L-1	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L-1	550
11. Amoníaco	mg N L-1	1.5
12. Hierro	mg Fe L-1	0.3
13. Manganeso	mg Mn L-1	0.4
14. Aluminio	mg Al L-1	0.2
15. Cobre	mg Cu L-1	2
16. Cinc	mg Zn L-1	3
17. Sodio	mg Na L-1	200

Fuente: DIGESA (2011)

UCV= Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

2.1.5. Situación del agua potable en el país

Se calcula que la población total del país es de aproximadamente 31,5 millones de personas. De esta cifra, el 86,1% tiene acceso a agua a través de una red pública, con un 67,1% recibiendo agua potable y el 19,0% accediendo a agua no apta para el consumo. El 13,9% restante utiliza agua no potable de diversas fuentes como ríos, manantiales, lluvia, camiones cisterna o pilones públicos. En total, unos 10,4 millones de personas, o el 32,9% de la población, consumen agua no segura. De estos, cerca de 6 millones obtienen agua de una red pública, y alrededor de 4,4 millones utilizan otras fuentes (INEI, 2017).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias del tracto gastrointestinal y una tercera parte de las muertes se atribuyen al consumo de agua de mala calidad. Se define como agua potable aquella que se emplea para actividades domésticas y de higiene personal, así como para beber y cocinar. Agua segura es la que cumple con las directrices de la OMS o con los estándares nacionales en cuanto a calidad (OMS, 2022).

Según la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH), al 86,1% de la población que indicó tener acceso a agua a través de una red pública se le consultó sobre la

calidad del agua que consume. Para el primer semestre de 2016, de este grupo, el 67,1% afirmó que el agua era potable, mientras que el 19,0% indicó que era no potable. En las áreas urbanas, el 93,5% tiene acceso a agua por red pública y, de estos, el 84,5% informa que el agua es potable. En áreas rurales, aunque el 61,3% tiene acceso a agua por red, el 52,0% señala que el agua no es potable (SUNASS, 2018).

De acuerdo con datos de la SUNASS, la cobertura de servicios de saneamiento, dentro del ámbito de las Empresas Prestadoras (EP), mostró un crecimiento constante entre 2016 y 2020. Según SUNASS, la cobertura media de agua potable en el país aumentó del 88,62% en 2016 al 89,91% en 2020. En el mismo período, el servicio de alcantarillado pasó del 82,28% al 83,84% (SUNASS, 2018).

2.1.6. Agua para consumo humano en la región San Martín

La información que se proporciona destaca la importancia de mejorar y mantener la calidad del agua para consumo humano, especialmente en regiones como San Martín. Según los datos, ha habido un progreso notable en la cobertura de los servicios de agua potable en los últimos años. En el ámbito urbano, se alcanzó un valor de 93,73% en 2018, mientras que, en el ámbito rural, un sector tradicionalmente desatendido, se llegó al 60,83%.

Es especialmente relevante que 3,224 personas en la región de San Martín tendrán acceso a agua potable por primera vez gracias a la nueva planta de tratamiento. Esta es una noticia alentadora, considerando que el acceso a agua segura es fundamental para la salud pública.

Las actividades para asegurar la calidad del agua incluyen inspecciones sanitarias, monitoreo de parámetros en el campo, análisis bacteriológicos, parasitológicos y fisicoquímicos, y la instrucción sobre prácticas seguras para la desinfección y el almacenamiento del agua en el hogar. También se realizan desinfecciones de los sistemas de abastecimiento de agua y se ofrecen talleres para Juntas Administradoras de Servicios y Áreas Técnicas Municipales. Todo esto se lleva a cabo con el objetivo final de proteger la salud de la población.

Dichas actividades son críticas no solo para la mejora de la salud pública sino también para el desarrollo sostenible de la región. Mejorar el acceso a agua segura y los servicios de saneamiento son aspectos clave para el bienestar de cualquier comunidad. Al asegurar que más personas tengan acceso a agua potable y educar sobre su uso seguro y almacenamiento, se da un paso importante en la mejora de la calidad de vida y en la reducción de enfermedades relacionadas con el consumo de agua no segura. (INEI, 2017)

2.1.7. Sistemas de abastecimiento de agua potable

Las infraestructuras que transportan agua desde fuentes como acuíferos, cuerpos de agua superficiales o precipitaciones hasta los puntos donde se consume, son conocidas como sistemas de suministro de agua. Estos sistemas, que incluyen elementos como tubos, dispositivos y estructuras de almacenamiento, tienen como objetivo llevar el líquido desde su origen hasta los hogares, asegurando que se cumpla con las demandas y estándares de calidad que requiere la comunidad. Según el entorno en el que se encuentren; ya sea urbano o rural, estos sistemas varían en su complejidad. En zonas urbanas, suelen ser más sofisticados, mientras que, en entornos rurales suelen ser más básicos, a menudo careciendo de redes de distribución integrales y recurriendo a fuentes comunitarias como grifos públicos o sistemas de distribución hogareña más rudimentarios (Lossio-Ariocoché, 2012).

2.1.8. Tratamiento de agua para consumo humano

En una instalación de purificación, el agua sin tratar pasa por varios métodos de limpieza con la finalidad de erradicar tanto agentes biológicos como impurezas químicas y físicas, hasta alcanzar los niveles permitidos según las regulaciones establecidas (CPIS/OPS/OMS, 2004).

2.1.8.1. Cribado

En este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua (ramas, madera, piedras, plásticos, etcétera) por medio de rejillas, en las que estos materiales quedan retenidos (CPIS/OPS/OMS, 2004)

2.1.8.2. Coagulación-floculación

La coagulación se realiza mediante la adición de sustancias coagulantes para desestabilizar partículas coloidales para su posterior eliminación. Este paso se lleva a cabo en un corto período de tiempo y su eficacia depende de la concentración del coagulante y del pH de la solución. Por otro lado, la floculación es el mecanismo a través del cual las partículas desestabilizadas se unen y forman conglomerados conocidos como floc. Aparte de eliminar turbidez y coloración, estos procedimientos también se encargan de la erradicación de microorganismos, patógenos, algas y sustancias que afectan al sabor y olor del agua. La regulación cuidadosa de estos pasos es crucial para la eficacia de las etapas subsiguientes como la sedimentación y filtración (CPIS/OPS/OMS, 2004).

2.1.8.3. Sedimentación

Este es un proceso físico en el que las partículas suspendidas en el agua son retiradas gracias al efecto gravitacional. Para ello, las partículas deben ser más densas que el agua. El resultado es un líquido más claro y una suspensión más densa (CPIS/OPS/OMS, 2004).

2.1.8.4. Filtración

Este es un proceso físico que consiste en la separación de partículas suspendidas en el agua y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de diferentes capas de material filtrante. Es la fase responsable de que se cumplan los estándares de calidad para el agua potable. Desde el punto de vista bacteriológico, los filtros tienen una eficiencia de remoción superior a 99% (CPIS/OPS/OMS, 2004).

2.1.8.5. Desinfección

Esta es la fase final en el tratamiento del agua, y su objetivo es la destrucción selectiva de organismos que pueden ser infecciosos. Sin embargo, no todos los patógenos son erradicados en esta etapa, lo que subraya la importancia de las etapas previas como coagulación, sedimentación y filtración (CPIS/OPS/OMS, 2004).

2.2. Estado del arte.

En un estudio de 2021, Alejo Quispe y Flores Herrera investigaron el impacto de un sistema ecológico de tratamiento de agua en la mejora de la calidad del agua destinada al consumo humano en Nazca, Perú. Su meta fue evaluar cómo este sistema ecológico, que cumple con el D.S N° 031-2010-S.A. Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano, podría mejorar la calidad del agua utilizando la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural. En el estudio se tomaron muestras de 20 litros de agua de dos reservorios y se analizaron aquellas que no cumplían con los estándares técnicos. Descubrieron que una dosis de 8g/L (D5) era la más efectiva, logrando una mejora del 72% en la calidad del agua, mientras que una dosis de 1g/L (D1) solo alcanzó una eficiencia del 47%.

En su estudio de 2018, Atencio-Santiago se propuso investigar la calidad del agua consumida en San Antonio de Rancas, distrito de Simón Bolívar, y la percepción pública al respecto. La investigación reveló que, aunque los niveles de pH, temperatura, sólidos disueltos totales y metales estaban dentro de los límites permitidos por el DS N° 031-2010-SA y el DS N° 004-2017-MINAM, el agua no era apta para consumo debido a la detección de coliformes totales y fecales. En cuanto a la percepción pública, las personas creen que tienen suficiente agua, pero no tienen información sobre su calidad, ya que nunca se había analizado antes de esta investigación.

García-Saavedra, en su estudio de 2016, examinó el efecto del tratamiento convencional en la calidad del agua potable en Moyobamba, San Martín. El foco del estudio estaba en evaluar los aspectos físicos, químicos y biológicos del agua y compararlos con los límites legales para la calidad del agua de la categoría A-1, es decir, aguas que pueden ser tratadas únicamente con desinfección (DS N° 031-2010 SA- MINSAs).

En el estudio de 2017 titulado "Patógenos e Indicadores Microbiológicos de la Calidad del Agua para Consumo Humano", realizado por Ríos-Tobón et al., se enfocaron en identificar los marcadores microbiológicos más cruciales en la evaluación del agua apta para el consumo. Esto serviría como base para establecer un nuevo modelo de vigilancia en Colombia. Sus hallazgos sugieren que, además de las bacterias y protozoos ya reconocidos en las regulaciones existentes, otros microorganismos no considerados hasta ahora, como virus, otras bacterias y parásitos, también podrían usarse como bioindicadores.

El estudio de 2019 de Espitia-Iriarte tiene como fin examinar tanto los aspectos fisicoquímicos (como arsénico, cadmio, conductividad, dureza y turbidez) como microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) y niveles de cloro libre residual del agua potable en la Urbanización La Estancia de Lurín. El propósito es determinar si estos indicadores sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) fijados por la DIGESA en Perú y los equivalentes en Colombia. Además, se explora la conexión entre la calidad del agua y el desarrollo de la planta acuática *Lemna minor*. Se emplearon técnicas de absorción atómica para analizar metales y el método de tubos múltiples para coliformes. Los resultados se cotejaron con las normativas tanto de Perú como de Colombia. Se encontró que ni el arsénico ni el cadmio estaban presentes. Aunque se registraron altos niveles de dureza y conductividad, no superaron los LMP de la DIGESA, pero sí los de la normativa colombiana. Se constató un nivel insuficiente de cloro residual y se detectaron coliformes totales en un 25% de las muestras. La turbidez se mantuvo dentro de los límites de ambas normativas. Además, se identificó una relación positiva entre la calidad del agua y el crecimiento diferencial de la población de *Lemna minor*, lo cual indica que la planta podría servir como un útil indicador de la calidad del agua para las comunidades locales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación Geográfica

De acuerdo con el sistema de coordenadas UTM WGS 84 de la zona 18M, el área de estudio se ubica:

Este (m) : 318459.13
Norte (m) : 9114621.07



Figura 1. Ubicación del Centro Poblado Puerto Pizana

3.1.2. Ubicación política

El sector de investigación está localizado en el Centro Poblado de Puerto Pizana, que forma parte del distrito de Pólvora en la provincia de Tocache, perteneciente a la región de San Martín.

3.1.3. Límites

Por el norte : Con el distrito de Campanilla
Por el sur : Con el distrito Tocache y Ongon
Por el este : Con el distrito de Tocache
Por el oeste : Con el distrito de Ongon

3.1.4. Vías de acceso

Para llegar a esta área de estudio, hay dos opciones: por carretera y por aire. En el caso terrestre, la Carretera Fernando Belaunde Terry, que parte desde la ciudad de

Tingo María, ofrece acceso y se encuentra en buen estado de conservación. En el caso aéreo, se puede viajar desde Lima hasta Tarapoto, y luego tomar la mencionada carretera Fernando Belaunde Terry.

3.1.5. Condiciones climatológicas

3.1.5.1. Clima

De acuerdo con el mapa climático de Perú publicado por el SENAMHI en 2021, la región tiene un clima lluvioso con alta humedad durante todo el año, clasificado como B(r)B'. Este tipo de clima cubre el 9% del territorio nacional y se ubica en el lado oriental de la cordillera de los Andes. Diversos fenómenos como el Anticiclón del Atlántico Sur y la Zona de Convergencia intertropical afectan el clima local. Durante el invierno, las lluvias pueden ser intensas, influenciadas indirectamente por los friajes.

3.1.5.2. Precipitación

En esta región, la cantidad anual de precipitaciones puede oscilar entre 1200 mm y cerca de 3000 mm.

3.1.5.3. Humedad relativa

La humedad relativa promedio en esta zona es del 89-90% y su variabilidad está sincronizada con los periodos de mayor precipitación, lo que resulta en niveles más elevados de humedad durante estas épocas.

3.1.5.4. Temperatura

La zona muestra temperaturas máximas que varían entre 25°C y 29°C, mientras que las temperaturas mínimas fluctúan entre 11°C y 17°C a lo largo del año.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Materiales y equipos

3.2.1.1. Materiales de campo

Para las distintas tareas en el sitio de estudio, se recurrió a elementos tales como formularios de encuestas, guantes protectores, cubrebocas, recipientes de plástico estériles de 1 litro, tabletas DPD, libreta de anotaciones y suministros de oficina.

3.2.1.2. Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio empleados incluyen placas de Petri, pipetas con marcas de 1 ml, 5 ml, y 10 ml, probetas marcadas de 100 ml, tubos de ensayo, vasos de precipitado de distintas capacidades (50 ml, 200 ml, y 500 ml), matraces de 100 ml y 250 ml, crisoles, gradillas y un mechero Bunsen.

3.2.1.3. Equipos

Los equipos tecnológicos usados en el estudio consisten en un ordenador portátil, impresora, cámara digital, sistema de posicionamiento global (GPS) y un dispositivo multiparámetro para mediciones.

3.2.1.4. Software

Los programas informáticos empleados en el estudio incluyen Microsoft Excel, Microsoft Word, Microsoft PowerPoint, Arc GIS 10 y Matlab.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Evaluación de Conformidad con Normas Sanitarias para Agua Potable

Para analizar el grado de cumplimiento de las leyes sanitarias relativas al agua destinada al consumo humano, particularmente en lo referente a sus parámetros físicos y biológicos, se estudió todo el sistema de suministro de agua en Puerto Pizana (incluyendo la fuente de captación, la planta de tratamiento, el depósito y la red de distribución).

Puntos de muestreo

Para la selección de los puntos de muestreo en la captación, planta de tratamiento, reservorio y red de distribución, se consideró aspectos como la accesibilidad, representatividad y seguridad.

Tabla 4. Puntos de muestreo.

N	Punto de muestreo	Ubicación
1	PMC	Captación
2	PMPT	Planta de tratamiento
3	PMR	Reservorio
4	PMRD	Red de distribución

Toma de muestra

El procedimiento para la recolección de muestras se basa en las directrices del Manual para Análisis Fundamentales de Calidad del Agua Potable, publicado por la Organización Panamericana de la Salud (Aurazo-Zumaeta, 2004), específicamente el Capítulo 4, Sección 1.1., así como en los criterios descritos en el apartado 6 de la Resolución Ministerial N° 156-2010/MINSA (DIGESA 2011).

Consideraciones para la toma de muestra en infraestructura de agua potable

Muestreo de parámetros fisicoquímicos.

- Se usará un envase previamente limpiado y enjuagado con agua de la misma fuente tres veces. La muestra será transferida al contenedor hasta llegar a la marca indicada.
- Inmediatamente después, se sellará el contenedor de manera segura.
- Las muestras serán etiquetadas adecuadamente y empaquetadas de manera que se evite cualquier fuga o ruptura.
- Estas muestras serán entregadas al laboratorio, refrigeradas a 4°C en neveras portátiles, junto con los reactivos pertinentes (según el parámetro que se vaya a analizar), dentro de las primeras 24 horas después de su recolección.

Muestro de parámetros microbiológicos

- Se tendrán en cuenta recipientes de vidrio oscuro con tapas que contengan tiosulfato de sodio. Si es posible, se usarán guantes de plástico, y la muestra se cubrirá con papel de aluminio, evitando contaminar los bordes del recipiente con las manos. Se buscará procesar la muestra dentro de las 24 horas siguientes.
- Las muestras se recogerán en contenedores limpios, secos y herméticos. Adicionalmente, estos contenedores deben ser estériles y llenados hasta las tres cuartas partes para permitir la aireación y garantizar la supervivencia de los microorganismos que se van a contar.
- Cada muestra se marcará con una etiqueta o rótulo que indique claramente el lugar, la fecha y la hora de la recolección.
- También se documentará la ubicación exacta del punto de muestreo utilizando un sistema GPS, buscando la mayor precisión posible.
- El sitio de muestreo será documentado con fotografías para su posterior caracterización.

Análisis de campo

Tras la recolección de muestras del cuerpo hídrico en cuestión, se procedió a la medición "in situ" de diversos factores, incluidos el cloro libre residual, la temperatura, el nivel de pH y la cantidad de oxígeno disuelto. Para ello, se sumergió una sonda higienizada del equipo de campo directamente en el agua objeto del estudio. Las métricas se obtuvieron siguiendo meticulosamente las pautas y manuales del aparato utilizado, y los datos resultantes se consignaron en la hoja de recolección de muestras.

Análisis fisicoquímicos

Para llevar a cabo las pruebas fisicoquímicas, se recurrió al Decreto Supremo N°031-2010-SA de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

como marco normativo que rige la calidad del agua destinada al consumo humano. Los procedimientos de análisis que se aplicaron están respaldados y descriptos por entidades como la Asociación de Salud Pública de Estados Unidos, la Asociación de Obras de Agua de Estados Unidos y la Federación de Ambiente Acuático (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos para muestreo

Parámetros	Unidad de Medida	Metodología
pH	Valor de pH	pH, Conductividad, Sólidos Totales – Método Instrumental Potenciométrico. Equipo multiparámetro portátil, Modelo HANNA.
Conductividad (25 °C)	uS/cm	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	
Oxígeno disuelto	mg/L	Método de Winkler
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	APHA-AWWAWEF 2340 Dureza-Ca-D Calcio: Método Titulométrico de EDTA (APHA 1989)
Cloro	mg/L	APHA-AWWAWEF 4500-CL-E, WEF 4500- Cloro: Método colorimétrico DPD (APHA 1989)
Nitratos	mg NO ₃ /L	APHA-AWWAWEF 4500-CL-E, WEF 4500- Nitrato

Fuente: DS N°031-2010-SA –DIGESA y (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

Análisis microbiológicos

En el caso de las evaluaciones microbiológicas, se acataron las pautas estipuladas por la Resolución Ministerial N° 591-2008/MINSA, específicamente la sección XVI.4, que define los estándares microbiológicos para la calidad e inocuidad del agua y el hielo destinados al consumo humano. Además, se hizo referencia al Decreto Supremo N°031-2010-SA de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) para garantizar la calidad del agua apta para el consumo.

Tabla 6. Parámetros microbiológicos para muestreo.

Parámetros	Unidad de medida	Metodología
<i>Escherichia coli.</i>	UFC/100 mL a 44.5°C	APHA-AWWA-WEF (1989). APHA AWWA-WEF Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.
Bacterias Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL a 44.5°C	APHA AWWA-WEF Fecal Coliform Membrane Filter Procedure.
Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 35°C	APHA AWWA-WEF Fecal Coliform Membrane Filter Procedure.
Bacterias Heterotróficas	UFC/100 mL a 35 °C	APHA-AWWA-WEF Approved By Standard Methods Committee – Recuento de Heterótrofos.
Huevos de helmintos	Nº/100 mL	APHA-AWWA-WEF (1989)

Fuente: DS N°031-2010-SA –DIGESA, RM N° 591-2008/MINSA y (APHA-AWWA-WPCF, 1992)

Cumplimiento de la normativa

Para concluir la evaluación del nivel de adherencia a las normativas sanitarias, se consultaron los Anexos II y III del Decreto Supremo N°031-2010-SA de DIGESA. Estos anexos definen los Límites Máximos Permitidos para parámetros de calidad relacionados con aspectos organolépticos y químicos, tanto orgánicos como inorgánicos. En lo que respecta a la comparación de los parámetros microbiológicos, se utilizó como referencia el anexo I del Decreto Supremo N°031-2010-SA de DIGESA, que establece los Límites Máximos Permitidos para parámetros de calidad relacionados con aspectos microbiológicos y parasitológicos del agua destinada al consumo humano.

Tabla 7. Límite Máximo Permisible (LMP) para parámetros fisicoquímicos

Parámetros fisicoquímicos	UM	LMP
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25 °C)	uS/cm	1 500.00
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000.00
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	500.00
Cloro	mg/L	5.00
Nitratos	mg NO ₃ /L	50.00

Fuente: DS N°031-2010-SA

Tabla 8. Límite Máximo Permisible (LMP) para parámetros microbiológicos

Parámetros microbiológicos	Unidad de medida	Límite Máximo Permisible
<i>Escherichia coli.</i>	UFC/100 mL a 44.5°C	0
Bacterias Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL a 44.5°C	0
Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 35°C	0
Bacterias Heterotróficas	UFC/100 mL a 35 °C	500
Huevos de helmintos	Nº/100 mL	0

Fuente: DS N°031-2010-SA

3.2.2.2. Determinación de Índices de Calidad e Índice de Contaminación.

Para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Contaminación (ICO) con base en las características fisicoquímicas y microbiológicas del sistema de suministro de agua potable de Puerto Pizana, se aplicaron diversas metodologías. El objetivo era analizar el efecto del sistema de tratamiento de agua en la calidad del recurso.

Índice de calidad de agua (ICA)

Para el ICA, se empleó una metodología establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2018, que a su vez está basada en el Índice Canadiense de Calidad del Agua CCME-WQI. Este índice abarca tres aspectos principales: el alcance, que indica el número de parámetros que no cumplen con las normas de calidad del agua; la frecuencia, que se refiere a cuántas veces se incumplen estas normas; y la amplitud, que explica cuánto se desvían los parámetros medidos de los valores estándar. Se evaluó la calidad del agua en referencia a las normativas del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, basado en las características fisicoquímicas y microbiológicas pertinentes para aguas categorizadas como 1-A2 Poblacional y Recreacional. Estas son aguas que, tras un tratamiento convencional, son aptas para el consumo humano. Por lo tanto, se tomaron muestras tanto en la fuente de captación como en la red de distribución del sistema de agua.

Adicionalmente, también se evaluó la calidad del agua en relación con el Decreto Supremo N° 031-2010-SA para una evaluación más completa.

1. Alcance

Indica la proporción de criterios de calidad del agua que no alcanzan los niveles especificados en la reglamentación de Estándares de Calidad Ambiental para Agua del año 2017, en comparación con el conjunto total de criterios que deben ser evaluados.

Este enunciado se refiere a la medida o métrica que muestra cuántos de los parámetros de calidad del agua no cumplen con las pautas o límites establecidos en la legislación específica del 2017 para la calidad del agua ambiental. La idea es comparar la cantidad de estos parámetros no conformes con el número total de parámetros que la normativa requiere evaluar. Esto ayuda a entender el nivel de cumplimiento o incumplimiento de las normas de calidad del agua en un contexto determinado.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA-Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} \dots\dots\dots (1)$$

2. Frecuencia

Indica la proporción de datos que no alcanzan los requisitos estipulados en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua del 2017, en relación con el volumen total de datos asociados a los parámetros que deben ser evaluados.

Este enunciado se refiere a la métrica que muestra cuántos de los datos recolectados sobre la calidad del agua no se ajustan a las normas establecidas en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua del año 2017. La idea es comparar el número de estos datos no conformes con el total de datos que deberían evaluarse según la normativa. Esta comparación permite obtener un entendimiento más claro sobre el grado en que se está cumpliendo o no con los estándares ambientales en un determinado entorno.

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA-Agua de los datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}} \dots (2)$$

3. Amplitud

Indica la magnitud de la variación presente en los datos, calculada a partir de la suma ponderada de las cantidades que superan los límites establecidos, en relación con la cantidad total de datos recolectados.

Este enunciado describe una métrica que busca cuantificar cuánto se desvían los datos recolectados de algún estándar o límite preestablecido. Se realiza sumando todas las cantidades que exceden los límites permitidos y luego normalizando esta suma, generalmente dividiéndola por el número total de datos para obtener un promedio. Este cálculo proporciona un indicador numérico de la magnitud de la desviación en los datos, lo que puede ser útil para evaluar la calidad o el rendimiento de un sistema.

$$F3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes}+1} * 100 \dots\dots\dots (3)$$

Donde, la suma normalizada de excedentes (nse):

$$nse = \frac{\sum \text{Excedente}}{\text{Total de datos}} \dots\dots\dots (4)$$

En el análisis, se tomó en cuenta el concepto de "excedente" para cada uno de los parámetros en estudio. Este excedente es la magnitud que ilustra la disparidad entre el valor normativo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA - Agua) y el valor real obtenido a través de las mediciones. Esta consideración es relevante porque nos ayuda a entender cuánto se desvía la calidad del agua con respecto a lo que se considera aceptable o seguro según las directrices regulatorias.

En este contexto, es posible encontrar dos escenarios diferentes, pero en este momento nos enfocamos en el primer caso:

Caso 1: En la situación en la que la concentración medida para un determinado parámetro excede el valor máximo permitido según los ECA - Agua, el cálculo del excedente se aborda como sigue:

$$\text{Excedente} = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA-Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en ECA-Agua}} \dots\dots\dots (5)$$

Caso 2: En la instancia donde la concentración observada de un parámetro específico es inferior al valor máximo prescrito por los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA - Agua), el procedimiento para calcular el excedente se ajusta de la siguiente forma:

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

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procedió a realizar el cálculo del Índice de Calidad de Agua, siendo este:

$$ICA = 100 - \sqrt{\frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{3}} \dots\dots\dots (7)$$

Finalmente se calificó e interpretó de acuerdo con el valor obtenido de la ecuación (7) y según la Tabla 9:

Tabla 9. Calificación del índice de la calidad del agua

ICA	Calificación	Interpretación
90-100	Excelente	La integridad del agua se mantiene sin riesgos ni perjuicios visibles. Su estado se aproxima fuertemente a las condiciones naturales o ideales.

ICA	Calificación	Interpretación
75-89	Bueno	El estado del agua varía levemente de su calidad intrínseca. Aunque puede haber ciertos riesgos o daños menores, las condiciones generales todavía se aproximan a lo que sería ideal.
45-74	Regular	De vez en cuando, la calidad inherente del agua se encuentra en riesgo o sufre deterioros. Con frecuencia, las condiciones reales difieren de las condiciones óptimas, requiriendo a menudo que se realice algún tipo de tratamiento para su uso.
30-44	Malo	El agua frecuentemente no alcanza los estándares de calidad deseados y sufre de amenazas o daños de manera regular. La mayoría de sus aplicaciones requieren tratamiento previo para garantizar su idoneidad.
0-29	Pésimo	La calidad del agua está de forma constante en riesgo o sufriendo deterioros, no logrando cumplir con los criterios de calidad. Para todos los propósitos, es necesario un tratamiento previo antes de su uso.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2018)

Índice de contaminación (ICO)

Para calcular el Índice de Contaminación (ICO), se adoptó la metodología propuesta por Ramírez Silva et al. en 1997. Este índice se formula con base en tres parámetros clave: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5), los coliformes totales, y el porcentaje de saturación de oxígeno en el cuerpo de agua.

DBO5: Este parámetro evalúa la cantidad de oxígeno que se necesita para descomponer la materia orgánica presente en el agua, a lo largo de un período de 5 días. Es un indicador clave de la contaminación orgánica en el agua.

Coliformes totales: Este parámetro indica la presencia de bacterias coliformes, que son un grupo de bacterias generalmente presentes en el tracto digestivo de los animales de sangre caliente, y que son liberadas al ambiente a través de sus desechos. Aunque no todas las bacterias coliformes son patógenas, su presencia puede señalar una posible contaminación por otras bacterias patógenas y virus.

Porcentaje de saturación de oxígeno: Este parámetro refleja el estado de la salud ecológica del cuerpo de agua, debido a que un bajo nivel de oxígeno en el agua podría indicar una elevada actividad de descomposición biológica, lo cual es generalmente un signo de contaminación.

Estos tres parámetros juntos proporcionan una visión completa tanto de las fuentes potenciales de contaminación orgánica como de la capacidad del cuerpo de agua para sostener la vida acuática y diluir o degradar contaminantes.

Al igual que con el Índice de Calidad del Agua (ICA), las muestras para el cálculo del Índice de Contaminación (ICO) se tomaron en la fuente de captación y en la red de distribución del sistema de abastecimiento de agua en Puerto Pizana. Esta estrategia permite evaluar la eficacia del sistema de tratamiento de agua y la calidad del agua en diferentes etapas del sistema de suministro.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{ICO} = 1/3 (\text{I}_{\text{DBO5}} + \text{I}_{\text{Colif Total}} + \text{I}_{\text{Oxígeno}}) \dots\dots\dots (8)$$

Donde, I corresponde al subíndice de cada parámetro detallado en la siguiente tabla:

Tabla 10. Función del subíndice de los parámetros involucrados en el ICO

Parámetro	Función del subíndice (Ii)
DBO ₅	$\text{I}_{\text{DBO}} = -0.05 + 0.70 \log (\text{DBO}_5)$ Si $\text{DBO}_5 > 30 \text{ mg/L}$, $\text{I}_{\text{DBO}} = 1$ Si $\text{DBO}_5 < 2 \text{ mg/L}$, $\text{I}_{\text{DBO}} = 0$
Coliformes Totales	$\text{I}_{\text{CT}} = -1.44 + 0.56 \log (\text{CT})$ Si $\text{CT} > 2 \cdot 10^4 \text{ MNP/100 mL}$, $\text{I}_{\text{CT}} = 1$ Si $\text{CT} < 500 \text{ MNP/100 mL}$, $\text{I}_{\text{CT}} = 0$
OD % Saturación	$\text{I}_{\text{OD}} = 1 - 0.01 (\% \text{OD})$ Si $\% \text{OD} > 100$, $\text{I}_{\text{OD}} = 1$

Fuente: (Ramírez Silva et al., 1997)

Una vez obtenido los resultados se hizo la comparación según los rangos de clasificación de la contaminación del agua mediante el ICO.

Tabla 11. Clasificación de la contaminación del agua mediante el ICO

Valor del ICO	Clasificación de la contaminación
0 – 0.2	Muy baja
0.2 – 0.4	Baja
0.4 – 0.6	Media

0.6 – 0.8	Alta
0.8 – 1.0	Muy Alta

Fuente: Ramírez y Viña (1998).

3.2.2.3. Para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable del centro poblado Puerto Pizana.

La eficiencia se determinará para cada índice evaluando el incremento en los puntajes (en el caso de los ICA) y la disminución de los puntajes de contaminación en el caso de los ICO. La remoción también se evaluará para cada parámetro comparando los valores de la captación y de la red de distribución, en la siguiente Tabla se muestran los rangos de porcentaje de remoción propuestos y su respectiva valoración cualitativa:

Tabla 12. Eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable

Δ puntos (+)	ICA Final				
	< 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
< 20	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Regular	Regular
20 - 40	--	Deficiente	Regular	Regular	Buena
40 - 60	--	--	Buena	Regular	Muy Buena
60 - 80	--	--	--	Buena	Muy Buena
80 - 100	--	--	--	--	Excelente
Δ puntos (-)	ICO Final				
	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	< 20
< 20	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Regular	Regular
20 - 40	--	Deficiente	Regular	Regular	Buena
40 - 60	--	--	Buena	Regular	Muy Buena
60 - 80	--	--	--	Buena	Muy Buena
80 - 100	--	--	--	--	Excelente

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente (X)

- Sistema de tratamiento de agua

3.3.2. Variable dependiente (Y)

- Calidad de agua para consumo humano

3.3.3. Operacionalización de variables

- La operacionalización de variables se detalla en el cuadro siguiente.

Tabla 13. Operacionalización de variables

Variable	Descripción de la variable	Tipo de variable	Dimensión	Indicador
Sistema de tratamiento de agua	Son un conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo fisicoquímico, cuya finalidad es que a través de los equipamientos se logre eliminar y reducir la contaminación o las características no deseables del agua.	Nominal	Eficiencia del sistema de tratamiento	Índice de calidad de agua, índice de contaminación
Calidad de agua para consumo humano	Característica inocua del agua que tiene como finalidad prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.	Nominal	Parámetros fisicoquímicos	Límite Máximo Permisible
			Parámetros microbiológicos	Límite Máximo Permisible

3.4. Tipo de Investigación

Este proyecto cae bajo la categoría de investigación aplicada. Se hará uso del campo de la ciencia ambiental con el objetivo de examinar la efectividad de la planta de tratamiento de agua potable que atiende las necesidades del Centro Poblado Puerto Pizana en San Martín. El foco se centrará en una evaluación exhaustiva de distintos parámetros que definen la calidad del agua destinada al consumo humano. Según plantea Hernández - Sampieri et al. en su obra de 2006, la investigación aplicada se distingue por la aplicación directa de los conocimientos obtenidos y posee una relación intrínseca con la investigación fundamental o básica.

3.5. Diseño de la Investigación

La metodología que adopta este proyecto de investigación es no experimental. En este contexto, se parte de la premisa de que las variables independientes no están sujetas a manipulación directa, como señala Hernández en su obra de 2010. Dicho de otro modo, este enfoque se centra en observar y analizar fenómenos en su estado natural, sin intervenir directamente en ellos.

3.6. Nivel de investigación

El estudio se configura como descriptivo. Esto significa que se llevará a cabo una evaluación detallada y minuciosa de cómo el sistema de tratamiento de agua potable afecta la calidad del agua que se utiliza para consumo humano en la mencionada localidad de Puerto Pizana, en la región de San Martín. Jacobo et al., en su investigación de 2013, argumentan que los estudios de carácter descriptivo no sólo son fundamentales en sí mismos, sino que también constituyen el punto de partida para investigaciones de otra índole y complejidad.

3.7. Población y Muestra

3.7.1. Población

La fuente de estudio en esta investigación se centra en el agua que circula a través del sistema integral de abastecimiento de agua potable en la localidad de Puerto Pizana.

3.7.2. Muestra

La selección de muestra para este proyecto se basará en el agua proveniente de cuatro componentes clave del sistema: la fuente de captación, la planta de tratamiento, el reservorio y finalmente, la red de distribución. De cada uno de estos componentes se extraerán submuestras siguiendo los protocolos y especificaciones técnicas establecidas por los laboratorios encargados del análisis.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Análisis de contenido

Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las fuentes primarias, secundarias y terciarias. La documentación y los datos recopilados se organizarán siguiendo el modelo IICA – CATIE.

Instrumento: Fichas resumen, transcripciones y comentarios críticos.

b) Fichaje

La técnica de fichaje se empleará para organizar la información extraída, y se adherirá al modelo IICA-CATIE.

Instrumento: Fichas de localización, que contendrán información como el autor, año de publicación, título y subtítulo, edición, autores secundarios, ciudad y país de publicación, editorial, paginación y notas adicionales.

c) Técnicas de campo

Para el registro de datos en el lugar de estudio, se empleará una técnica de observación directa.

Instrumento: Libreta de campo para la toma de notas y registros pertinentes.

En resumen, este proyecto combina tanto métodos cuantitativos como cualitativos, y utiliza una variedad de técnicas e instrumentos para recopilar datos de manera integral. Todo esto se hace con el objetivo de evaluar la eficacia del sistema de tratamiento de agua potable en Puerto Pizana en términos de la calidad del agua destinada al consumo humano.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Cumplimiento de la normatividad

4.1.1. Captación

A continuación, se presentan y discuten los resultados que se muestran en la Figura 2 y la Tabla 14.

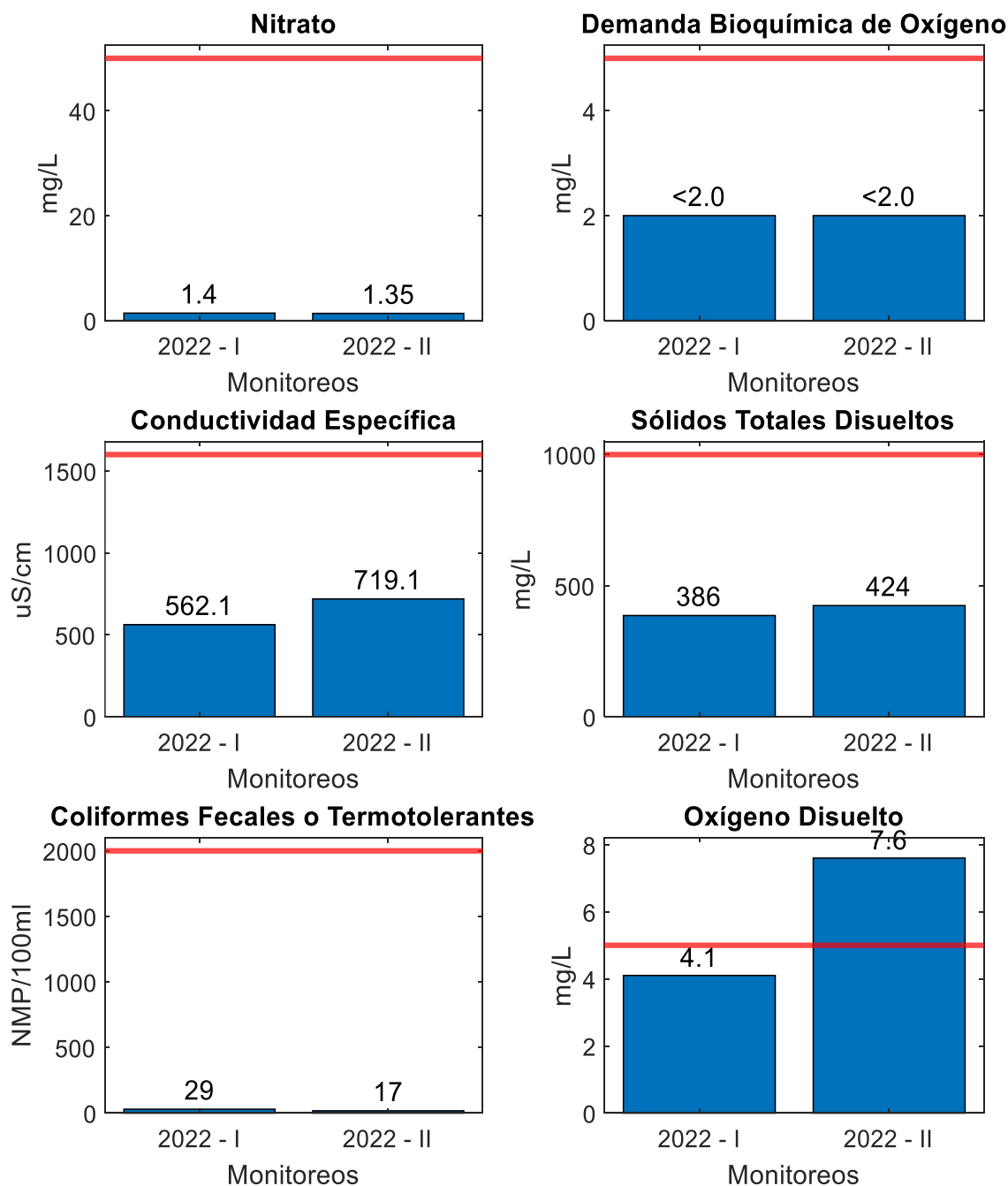


Figura 2. Parámetros de calidad hallados en la Captación para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM

Cloro residual

El cloro residual se encuentra en concentraciones menores a 0.1 mg/l para ambos monitoreos, esto es esperable porque es muy raro encontrar cloro libre en la naturaleza dada su inestabilidad y poder oxidativo, en ese sentido, los resultados son razonables.

Nitratos

El análisis de los datos obtenidos durante los períodos 2022-II y 2022-I muestra una concentración de nitrato en la captación de 1.4 mg/l y 1.35 mg/l, respectivamente. Comparado con la norma DS N 004 - 2017 MINAM, la cual establece un límite de 50 mg/l para nitratos, se observa que los valores obtenidos están muy por debajo de este límite. Esta comparación indica que la captación está en conformidad con el estándar normativo para este parámetro. Los nitratos son componentes de la calidad del agua que deben monitorearse debido a su impacto potencial en la salud humana y la calidad del agua. Las principales fuentes de nitratos en el agua incluyen el escurrimiento agrícola (principalmente fertilizantes), aguas residuales y desechos de animales (USEPA, 2020).

Al revisar los antecedentes, podemos observar que los valores de nitrato en la captación varían entre los diferentes estudios. En la tesis de Castillo-Díaz, (2016) se encontró un valor de 0.4 mg/l en la captación, mientras que (Quispe-Oporto, 2022) reportó 0.248 mg/l. Ambos valores son menores en comparación con los resultados de esta investigación, pero aun así los resultados de esta investigación están dentro de los límites normativos.

pH

Los valores de pH obtenidos para los períodos 2022-I y 2022-II son 8.4 y 7.62 respectivamente. Aunque el DS N° 004 - 2017 MINAM no establece valores para el pH, si lo hace el DS N° 031 – 2010 – SA, y los valores encontrados si cumplen el estándar.

Es importante observar que, aunque los valores de pH registrados en esta investigación cumplen con la norma DS N 004 - 2017 MINAM, el pH tiende a estar en el extremo superior del rango. Un pH ligeramente elevado puede tener varias implicaciones tanto para la calidad del agua como para su tratamiento. En primer lugar, un pH más alto puede afectar la efectividad del proceso de desinfección. Por ejemplo, el cloro, que es un desinfectante comúnmente utilizado, es menos efectivo a un pH más alto. Esto podría requerir dosis de cloro más altas para lograr el mismo nivel de desinfección, lo que a su vez puede aumentar la producción de subproductos de desinfección, que son potencialmente dañinos (World Health Organization, 2017). En segundo lugar, un pH más alto puede aumentar la solubilidad de ciertos compuestos, como el plomo y el cobre, que pueden estar presentes en las tuberías de agua. Esto podría llevar a una mayor concentración de estos metales en el agua suministrada, lo que podría tener efectos perjudiciales para la salud (U.S. Environmental Protection Agency, 2019).

En trabajos anteriores en donde se hizo la medición del pH en las captaciones, la mayoría de los valores se encuentran por debajo de 8, por ejemplo 7.02, 7.78, 6.73, 7.63 (Carrión-Peña, 2021; Castillo-Díaz, 2016; De la Cruz- Huaman, 2021; Hidalgo-Lozano, 2021) respectivamente, sin embargo, en la tesis de Quispe-Oporto, (2022) también se encontró un valor alto (8.4).

DBO

Durante los períodos de análisis 2022-I y 2022-II, se obtuvieron valores de DBO en la captación menores a 2 mg/l. La norma DS N° 004 - 2017 MINAM establece un límite de 5 mg/l para la DBO. Por lo que los valores hallados cumplen la normatividad.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un indicador clave de la calidad del agua, que mide la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponer la materia orgánica presente en el agua a través de la actividad bacteriana (Metcalf & Eddy, 2014). Fuentes comunes de DBO incluyen aguas residuales, residuos industriales y escurrimiento agrícola. Lo que indica que la captación se encuentra libre de estas fuentes contaminantes.

Conductividad

En los períodos de análisis 2022-I y 2022-II, la conductividad medida en la captación fue de 562.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 719.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. Según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el límite máximo permitido para la conductividad es de 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por lo tanto, los valores encontrados en ambos periodos de análisis se encuentran significativamente por debajo del límite establecido, demostrando un cumplimiento con esta norma.

Aunque la conductividad en sí misma no es un parámetro que represente riesgo para la salud, puede ser un indicador indirecto de otros contaminantes disueltos en el agua. Una alta conductividad puede sugerir la presencia de nutrientes y sales disueltas, que pueden afectar la calidad del agua y requerir tratamientos adicionales para su eliminación (Hem, 1985).

Respecto a los valores de conductividad presentados en los antecedentes, (Castillo-Díaz, 2016; Hidalgo-Lozano, 2021) reportaron valores de 362.75 y 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente y aunque estos valores son inferiores, todavía son considerablemente altos, sin embargo, en los trabajos de (De la Cruz- Huaman, 2021; Quispe-Oporto, 2022) los valores fueron de 22.9 y 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto puede explicarse por los pisos altitudinales, ya que los dos últimos trabajos mencionados se realizaron en zonas altas de la sierra peruana y de menor precipitación, sin embargo, las mediciones de este estudio se realizaron en zonas más bajas (selva) en donde hay mayores precipitaciones y mayor posibilidad de mineralización del cuerpo de agua por escorrentía.

Sólidos disueltos totales

Los valores de sólidos disueltos totales (SDT) obtenidos en la captación para los primeros y segundos monitoreos fueron de 386 y 424 mg/L, respectivamente. De acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el límite máximo permitido para los SDT es de 1000 mg/L. En este sentido, los valores obtenidos en ambos monitoreos están por debajo del límite establecido por la norma, lo que indica que la calidad del agua en términos de SDT es adecuada para su potencial tratamiento y consumo humano.

Las principales fuentes de SDT en el agua pueden ser naturales (como los minerales disueltos en el agua subterránea) o antropogénicas (como los desechos industriales, las aguas residuales y los escurrimientos agrícolas). Los riesgos para la salud humana asociados con altos niveles de SDT en el agua de consumo incluyen problemas gastrointestinales y potencial toxicidad dependiendo de la naturaleza de las sustancias disueltas. Adicionalmente, altas concentraciones de SDT pueden interferir con los procesos de tratamiento de agua, haciendo más difícil la eliminación de patógenos y otras sustancias no deseadas (EPA, 2012).

Observando los valores de antecedentes disponibles, se puede notar que hay una variación considerable en los niveles de SDT reportados en distintas tesis. Por ejemplo, la tesis de Castillo-Díaz (2016) reporta un valor de 236.25 mg/L en la captación, mientras que la tesis de Díaz-Edquén (2016) reporta un valor de 148 mg/L en la misma ubicación. Comparando los valores obtenidos en esta investigación (386 y 424 mg/L en la captación para el primer y segundo monitoreo respectivamente) con los reportados en la literatura, se puede notar que, aunque están ligeramente por encima de algunos antecedentes, siguen siendo menores al límite de 1000 mg/L establecido por el DS N 004 - 2017 MINAM. Este análisis comparativo refuerza la conclusión de que la calidad del agua en términos de SDT en la captación es adecuada para su potencial tratamiento y consumo humano.

Temperatura

En los monitoreos realizados durante los períodos 2022-I y 2022-II, se obtuvieron temperaturas de 20°C y 21.8°C respectivamente en la captación. En este caso, no existe un límite definido en el DS N° 004-2017-MINAM o en el DS N° 031 - 2010 - SA para la temperatura del agua destinada para el consumo humano o para su tratamiento. La norma solo establece una variación multianual máxima de 3 °C, por lo que no se puede comparar el resultado de la temperatura de este estudio con la normativa.

La temperatura del agua puede tener un impacto significativo en la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos. Puede influir en la solubilidad de gases, la tasa de reacciones químicas y el metabolismo de organismos acuáticos. Adicionalmente, altas temperaturas pueden facilitar el crecimiento de microorganismos, mientras que bajas temperaturas pueden reducir la eficacia de ciertos tratamientos de agua, como la desinfección con cloro (Bartram et al., 2003).

Los valores de antecedentes disponibles presentan una variedad de temperaturas registradas en la captación. Por ejemplo, la tesis de Castillo-Díaz (2016) reporta una temperatura de 15.7°C, mientras que la tesis de Hidalgo-Lozano (2021) reporta una temperatura de 21.76°C en la captación. Los valores obtenidos en esta investigación (20°C y 21.8°C para los primeros y segundos monitoreos, respectivamente) están dentro del rango de los valores reportados en los antecedentes.

Dureza total

Según los datos presentados, la dureza total en la captación durante el primer monitoreo en 2022 fue de 240 mg/l, y durante el segundo monitoreo fue de 317.7 mg/l. Comparando estos resultados con el estándar del DS N° 004-2017-MINAM, que no establece un límite específico para la dureza, y el DS N° 031-2010-SA, que establece un límite de 500 mg/l, los niveles de dureza en tu estudio se encuentran por debajo de este límite.

La dureza del agua es una medida de la cantidad de minerales disueltos que contiene, en particular calcio y magnesio. La dureza puede influir en el sabor del agua y también tiene implicancias prácticas; el agua dura puede causar depósitos minerales en las tuberías y los electrodomésticos, y puede reducir la eficacia de los detergentes y jabones. En términos de tratabilidad, la dureza puede complicar algunos procesos de tratamiento de agua, por ejemplo, puede interferir con la eficacia de los procesos de coagulación y puede requerir un ajuste del pH. Además, la eliminación de la dureza puede requerir un ablandamiento del agua, que es un proceso adicional de tratamiento (Snoeyink y Jenkins, 1980)

En los antecedentes proporcionados, la dureza en la captación varió entre 160 ppm (Díaz-Edquén, 2016) y 350 ppm (Espitia-Iriarte, 2019). Los resultados obtenidos en tu estudio se encuentran dentro de este rango, aunque el valor del segundo monitoreo se aproxima más al límite superior de los antecedentes. Esto sugiere que la dureza en la captación puede variar en el tiempo, posiblemente debido a factores como las variaciones estacionales en la geología de la fuente de agua o en los patrones de uso del agua en la cuenca.

Oxígeno disuelto

En la captación del primer monitoreo en 2022, el nivel de oxígeno disuelto fue de 4.1 mg/l, mientras que, en el segundo monitoreo, el nivel fue de 7.6 mg/l. Comparando estos datos con los estándares del DS N° 004-2017-MINAM, que establece un límite mínimo de 5 mg/l.

Niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser indicativos de una contaminación orgánica excesiva y/o de condiciones de estratificación térmica, en este caso se descarta la alta carga orgánica por lo bajos valores de DBO descritos anteriormente (< 2 mg/l para ambos periodos). Las variaciones en los niveles de oxígeno disuelto pueden ser causados por factores naturales, como la temperatura y la presión.

Según los antecedentes, los niveles de oxígeno disuelto en la captación han variado entre 3.29 mg/l (Hidalgo-Lozano, 2021) y 7.05 mg/l (Quispe-Oporto, 2022). En la primera evaluación de este estudio, el nivel de oxígeno disuelto se encontró dentro de este rango, sin embargo, en el límite inferior, lo que podría indicar condiciones adversas persistiendo desde la evaluación de Hidalgo-Lozano. En la segunda evaluación, el nivel de oxígeno disuelto excedió el rango anteriormente observado, alcanzando un nivel más saludable para la vida acuática, según los parámetros del DS N° 004-2017-MINAM.

Coliformes totales

Para los monitoreos realizados durante los períodos 2022-I y 2022-II, se obtuvieron valores de 31 NMP/100ml y 23 NMP/100ml, respectivamente, para coliformes totales en la captación. El DS N° 031 - 2010 - SA establece un límite de 1.8 NMP/100ml para coliformes totales en agua para consumo humano, y en ambos monitoreos, los valores superaron este límite. Sin embargo, el DS N° 004-2017-MINAM (que es el estándar aplicable a este punto del monitoreo) no establece un límite para los coliformes totales en el agua que está destinada para ser tratada.

Los coliformes totales son un grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en el medio ambiente, incluyendo en el agua. Su presencia en el agua se utiliza a menudo como un indicador de la posible presencia de patógenos entéricos, que pueden causar enfermedades en los humanos. La contaminación con coliformes totales puede ocurrir por diversas fuentes, incluyendo la escorrentía agrícola, el agua superficial contaminada con desechos animales o humanos, y el agua subterránea que ha estado en contacto con fuentes de contaminación fecal.

Los valores de antecedentes disponibles presentan una variedad de concentraciones de coliformes totales registradas en la captación. Por ejemplo, la tesis de Quispe-Oporto (2022) reporta un valor de <1.8 NMP/100ml, mientras que la tesis de De la Cruz-Huaman (2021)

reporta 10 NMP/100ml en la captación. Los valores obtenidos en esta investigación (31 NMP/100ml y 23 NMP/100ml para los primeros y segundos monitoreos, respectivamente) están por encima de algunos de los valores reportados en los antecedentes, indicando un nivel de contaminación mayor. Si bien es cierto los valores no sobrepasan ningún estándar aplicable, es necesario recalcar que este valor indica que se requiere una correcta desinfección en el tratamiento ya que, como fuente estos valores son aceptables, pero para el consumo humano, definitivamente no.

Coliformes termotolerantes

En los monitoreos realizados durante los períodos 2022-I y 2022-II, se obtuvieron valores de 29 NMP/100ml y 17 NMP/100ml, respectivamente, para coliformes termotolerantes en la captación. El DS N° 031 - 2010 - SA establece un límite de 1.8 NMP/100ml para coliformes termotolerantes en agua para consumo humano, y en ambos monitoreos, los valores superaron este límite. Por otro lado, el DS N° 004-2017-MINAM establece un límite de 2000 NMP/100ml para coliformes termotolerantes en agua que está destinada a ser tratada. En este caso, los resultados obtenidos están muy por debajo de este límite.

Los coliformes termotolerantes, también conocidos como coliformes fecales, son un grupo de bacterias que se encuentran en el tracto intestinal de los humanos y animales. Su presencia en el agua se utiliza como un indicador de la contaminación fecal y de la posible presencia de patógenos entéricos. La contaminación con coliformes termotolerantes puede ocurrir por diversas fuentes, como las aguas residuales sin tratar, la escorrentía agrícola y el agua superficial contaminada con desechos animales o humanos.

Los valores de antecedentes disponibles muestran una variedad de concentraciones de coliformes termotolerantes en la captación. Por ejemplo, la tesis de Quispe-Oporto (2022) reporta un valor de <1.8 NMP/100ml, mientras que la tesis de De la Cruz-Huaman (2021) reporta 8 NMP/100ml en la captación. Los valores obtenidos en esta investigación (29 NMP/100ml y 17 NMP/100ml para los primeros y segundos monitoreos, respectivamente) están por encima de algunos de los valores reportados en los antecedentes, indicando un nivel de contaminación mayor.

Los coliformes termotolerantes en la captación superan los límites establecidos por el DS N° 031 - 2010 - SA para agua de consumo humano, pero están muy por debajo del límite establecido por el DS N° 004-2017-MINAM para agua que está destinada para ser tratada. Sin embargo, es importante señalar que niveles elevados de coliformes termotolerantes pueden indicar una mayor probabilidad de presencia de patógenos entéricos y un mayor riesgo para la salud humana, lo que puede requerir un tratamiento de agua más riguroso.

Escherichia Coli

Durante los períodos de monitoreo 2022-I y 2022-II, los valores observados para *Escherichia coli* en la captación fueron de 36 NMP/100ml y 28 NMP/100ml, respectivamente. El DS N° 031 - 2010 - SA, que establece las normas para el agua destinada al consumo humano, tiene un límite de 1.8 NMP/100ml para *E. coli*. Los resultados obtenidos en ambos monitoreos superan este límite, lo cual indica que el agua de captación no cumple con este estándar y podría no ser segura para el consumo humano sin un tratamiento adecuado. El DS N° 004-2017-MINAM no especifica un límite para *E. coli* en agua que debe ser tratada.

Escherichia coli es una bacteria que se encuentra normalmente en los intestinos de las personas y los animales. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, pero algunas pueden causar enfermedades graves. La presencia de *E. coli* en el agua es un indicador de contaminación fecal y de la posible presencia de otros patógenos transmitidos por agua. La contaminación con *E. coli* puede ocurrir por diversas fuentes, incluyendo las aguas residuales, la escorrentía agrícola y la contaminación de fuentes de agua superficiales con desechos humanos o animales.

Los valores de antecedentes disponibles en la literatura son variables. Por ejemplo, en la tesis de Quispe-Oporto (2022), el nivel de *E. coli* en la captación fue menor de 1.8 NMP/100ml. Mientras que en otros estudios no se proporcionan datos para este parámetro en la captación. Los valores obtenidos en esta investigación (36 NMP/100ml y 28 NMP/100ml para los primeros y segundos monitoreos, respectivamente) son más altos que los informados por Quispe-Oporto (2022), lo que indica un mayor nivel de contaminación fecal.

Heterótrofos

Durante el período de monitoreo 2022-I, los valores observados para los microorganismos heterótrofos en la captación fueron de 1119 UFC/mL. El DS N° 031 - 2010 - SA, que establece las normas para el agua destinada al consumo humano, tiene un límite de 500 UFC/mL para microorganismos heterótrofos. El resultado obtenido durante este monitoreo supera este límite, lo cual indica que el agua de la captación no cumple con este estándar y podría no ser segura para el consumo humano sin un tratamiento adecuado. El DS N° 004-2017-MINAM no especifica un límite para microorganismos heterótrofos en agua que debe ser tratada.

Los microorganismos heterótrofos son una amplia categoría de microorganismos que obtienen su energía de la degradación de materia orgánica. Aunque la mayoría de los microorganismos heterótrofos no son patógenos, pueden indicar la presencia de otros organismos que sí lo son. Además, algunos heterótrofos pueden causar enfermedades en personas con sistemas inmunológicos debilitados (Bartram et al., 2003).

4.1.3. Planta de tratamiento

A continuación, se presentan y discuten los resultados que se muestran en la Figura 3 y la Tabla 14.

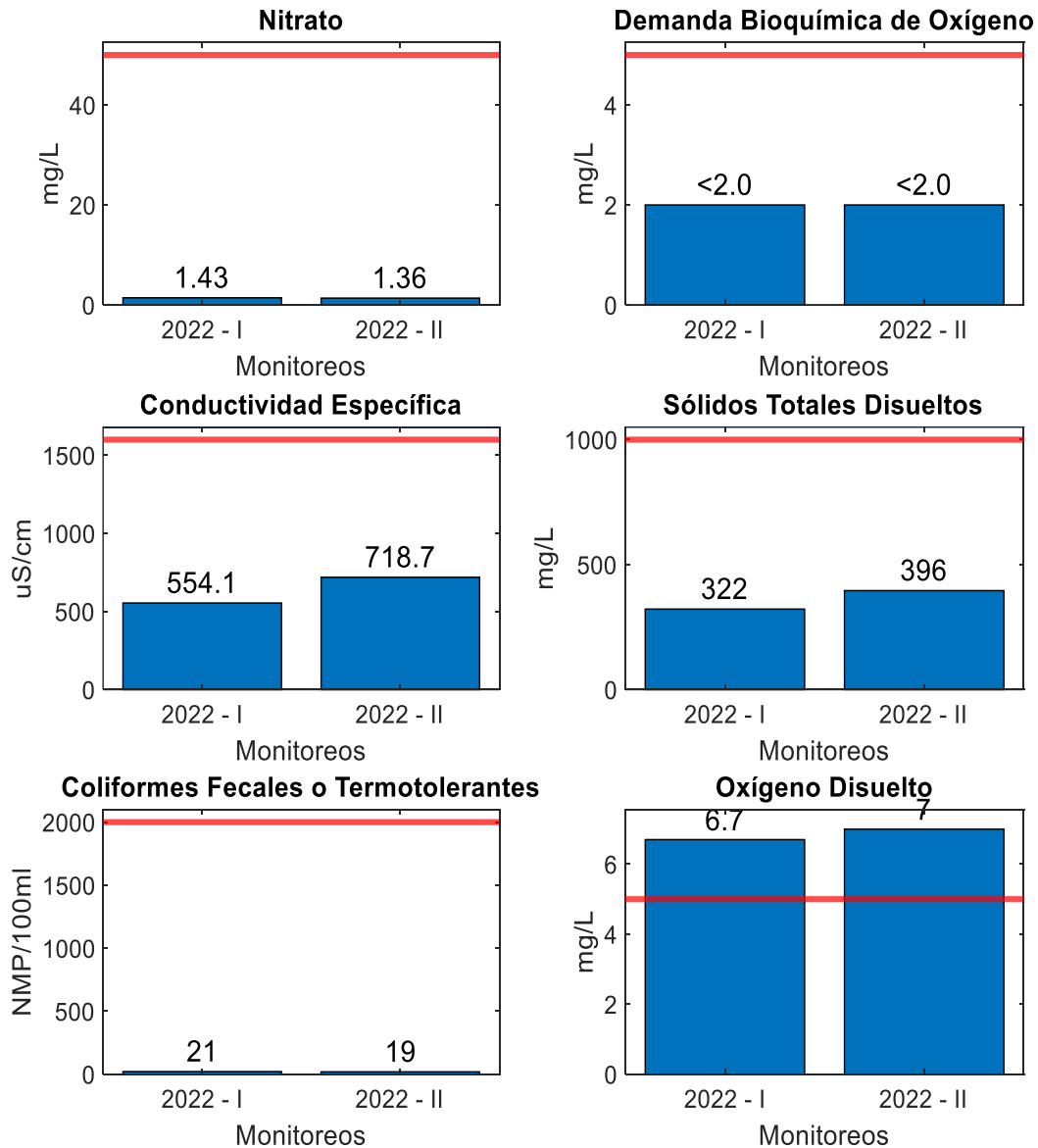


Figura 3. Parámetros de calidad hallados en la Planta de Tratamiento para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM

Cloro residual

El cloro residual se encuentra en concentraciones menores a 0.1 mg/l para ambos monitoreos, esto es esperable porque es muy raro encontrar cloro en este componente, debido a que el cloro es añadido recién en el reservorio, por lo que es normal no encontrar valores de cloro residual antes del reservorio.

Nitrato

En la planta de tratamiento, los niveles de nitrato aumentaron ligeramente en ambos periodos; de 1.4 mg/L en la captación a 1.43 mg/L en 2022-I, y de 1.35 mg/L a 1.36 mg/L en 2022-II. A pesar de estas variaciones, los niveles de nitrato están muy por debajo del límite de 50 mg/L establecido por la norma DS N 004 - 2017 MINAM. Es posible que este aumento ligero de los nitratos se deba a que la planta de tratamiento al ser una estructura, pueda ser una trampa para insectos u otros organismos que se quedan atrapados en la estructura y no puedan fluir, lo que se ve reflejado en este aumento.

pH

El pH se mantuvo estable desde la captación hasta la planta de tratamiento, obteniendo un resultado de 8.3 en 2022-I y disminuyendo levemente a 7.53 en 2022-II. Aunque los valores del pH están ligeramente fuera del rango ideal de 6.5-8.5 para el agua potable según la norma DS N 004 - 2017 MINAM, el agua del sistema de abastecimiento sigue siendo segura para el consumo humano.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO se mantuvo en menos de 2 mg/L desde la captación hasta la planta de tratamiento. Estos valores están muy por debajo del límite de 5 mg/L establecido por la norma DS N 004 - 2017 MINAM, lo que indica un bajo nivel de contaminación orgánica

Conductividad Específica

La conductividad específica fue de 554.1 y 718.7 uS/cm para el periodo 2022 – I y 2022 – II respectivamente. Este aumento sugiere un incremento en la concentración de iones disueltos en el agua, que podría deberse a una posible contaminación en el trayecto desde la captación a la planta, las precipitaciones ocurridas o la adición de algún agente en la planta para el tratamiento, como podría ser la adición de coagulantes. En cualquier caso, estos valores están muy por debajo del límite de 1500 uS/cm establecido en el DS N° 031 - 2010 – SA

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Los sólidos totales disueltos disminuyeron desde 386 mg/L en la captación a 322 mg/L en la planta de tratamiento en 2022-I, y disminuyeron levemente de 424 a 396 mg/L en 2022-II. Estos valores están muy por debajo del límite de 1000 mg/L establecido por la norma DS N 004 - 2017 MINAM.

Temperatura

La temperatura ha permanecido bastante constante, variando sólo ligeramente de 24°C en el primer período a 21.8°C en el segundo. La temperatura puede verse afectada por factores ambientales y no está específicamente regulada en el DS N° 031 - 2010 - SA.

Dureza Total

La dureza total del agua en la planta de tratamiento mostró un valor de 239.2 mg/l en el primer periodo y aumentó a 318.5 mg/l en el segundo. Este incremento podría deberse a un mayor aporte de sales de calcio y magnesio, que son los principales componentes que determinan la dureza del agua. La norma DS N 031 - 2010 - SA establece un límite de 500 mg/l, por lo que los valores obtenidos se encuentran bien por debajo de este límite, garantizando la potabilidad del agua en términos de este parámetro.

Oxígeno Disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto aumentaron ligeramente desde 4.1 mg/L en la captación a 6.7 mg/L en la planta de tratamiento en 2022-I y se mantuvieron casi constantes en 7 mg/L en 2022-II. Este parámetro no está regulado por la norma DS N 004 - 2017 MINAM, pero es un indicador importante de la salud del agua y la presencia de vida acuática.

Coliformes Totales

Se observó que los resultados para este parámetro se han mantenido constantes desde la captación hasta la planta de tratamiento (31 NMP/100ml - 29 NMP/100ml en 2022-I y 23 NMP/100ml - 25 NMP/100 ml en 2022-II). Estos resultados han sido esperables y tienen sentido, debido a que el proceso de tratamiento que debe eliminar estas bacterias, recién se encuentra en el reservorio. No obstante, los valores encontrados en ambos monitoreos están muy por encima del límite establecido por la norma DS N° 004-2017-MINAM, que es de 1.8 NMP/100ml.

Coliformes Termotolerantes:

Al igual que con los coliformes totales, la cantidad de coliformes termotolerantes se ha mantenido constantes desde la captación (29 NMP/100ml en 2022-I y 17 NMP/100ml en 2022-II) hasta la planta de tratamiento (21 NMP/100ml en 2022-I y 19 NMP/100ml en 2022-II).

Escherichia coli

Los niveles de *E. coli* en el agua disminuyeron de 36 NMP/100ml en la captación a < 1.1 NMP/100ml en la planta de tratamiento en 2022-I, y de 28 NMP/100ml a < 1.1 NMP/100ml en 2022-II. Esta reducción es esperada, ya que la planta de tratamiento debe eliminar estas bacterias. Sin embargo, los valores en la captación superan el límite de 1.8 NMP/100ml establecido por la norma DS N° 004-2017-MINAM.

Heterótrofos

En la captación, los valores eran altos (1119 UFC/mL en 2022-I y ausentes en 2022-II), pero se redujeron significativamente en la planta de tratamiento (17 UFC/mL en 2022-I y ausentes en 2022-II). Este resultado es positivo, ya que indica que la planta de tratamiento es eficaz para reducir la población de microorganismos heterótrofos. La norma DS N° 004-2017-MINAM no establece un límite para los heterótrofos, pero generalmente se espera que sean mínimos en el agua potable.

4.1.2. Reservorio

A continuación, se presentan y discuten los resultados que se muestran en la figura 4 y la Tabla 14.

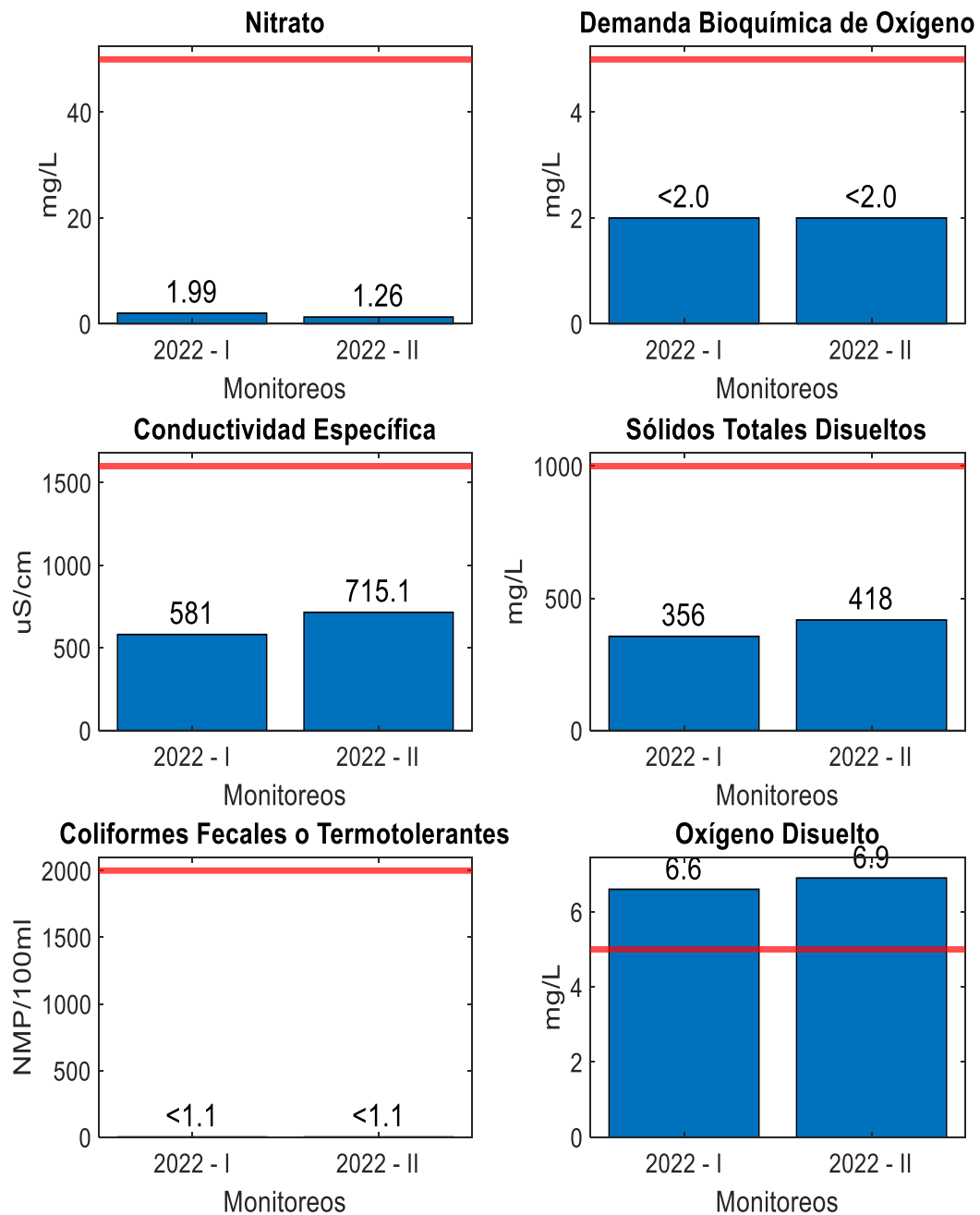


Figura 4. Parámetros de calidad hallados el Reservorio para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM

Cloro Libre Residual

En el monitoreo de 2022-I, el cloro libre residual en el Reservorio fue de 2.16 mg/l, aumentando a 2.27 mg/l en el 2022-II. Según la norma DS N° 031-2010-SA, el valor debería ser igual o mayor a 0.5 mg/l para que el agua sea segura para consumo humano. En ese sentido, y en referencia a este parámetro se puede afirmar que el agua es segura para el consumo humano, pues los resultados superan ampliamente el mínimo establecido.

Al comparar con los datos de las tesis, los valores del cloro libre residual son parecidos, con algunas tesis reportando valores más bajos (como 0.5 en la tesis de Quispe-Oporto, 2022) y otras superando los estándares (como 2.5 ppm en Díaz-Edquén, 2016).

Nitratos

El contenido de nitrato se mantuvo bastante constante, variando de 1.99 mg/l en 2022-I a 1.26 mg/l en 2022-II. Ambos valores están muy por debajo del límite de 50 mg/l establecido por la norma DS N° 031-2010-SA. Comparando con los valores de las tesis, los niveles de nitrato en general son bajos, siendo 0.3 mg/l en Castillo-Díaz, 2016 y 0.214 mg/l en Quispe-Oporto, 2022.

pH

En ambos periodos, el pH se mantuvo bastante constante, con valores de 8.3 en 2022-I y 7.64 en 2022-II. Estos valores están dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5 estipulado por la norma DS N° 031-2010-SA. En las tesis, los valores del pH varían, pero generalmente se mantienen dentro del rango normativo. Los valores son de 7.33, 7.11, 7.63 y 8.4 (Castillo-Díaz, 2016; Díaz-Edquén, 2016; Hidalgo-Lozano, 2021; Quispe-Oporto, 2022)

DBO

La DBO en el Reservorio ha sido menor a 2 mg/l en ambos períodos de monitoreo. Aunque este rango no se menciona específicamente en el DS N° 031 - 2010 - SA, en el DS N° 004-2017-MINAM se establece un límite de 5 mg/l, indicando que estos niveles están bien por debajo de este valor. No podemos comparar con las tesis porque no proporcionan información sobre la DBO.

Conductividad Específica

La conductividad específica se mantuvo en torno a 550-580 uS/cm en el primer período, y se incrementó significativamente en el segundo período hasta aproximadamente 715 uS/cm. Este aumento sugiere un incremento en la concentración de iones disueltos en el agua, que podría deberse a una variación en el origen del agua o a cambios en el proceso de tratamiento. En cualquier caso, estos valores están muy por debajo del límite de 1500 uS/cm establecido en el DS N° 031 - 2010 - SA. En cuanto a las tesis, los valores registrados están en el rango de lo encontrado en estudios anteriores como el de Castillo-Díaz (2016), donde los valores oscilan entre 362.75 y 336.33 uS/cm.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Los STD aumentaron ligeramente desde alrededor de 356 mg/l en el primer período a 418 mg/l en el segundo. Esto puede deberse a cambios en la calidad del agua de entrada o a variaciones en la eficacia del tratamiento. Sin embargo, estos niveles están bien por debajo del límite de 1000 mg/l establecido en el DS N° 031 - 2010 - SA. Respecto a las tesis, estos valores son similares a los obtenidos por Castillo-Díaz (2016), con valores que van desde 236.25 a 206.92 mg/l.

Temperatura

La temperatura ha permanecido bastante constante, con resultados de 21°C en el primer período y 21.7°C en el segundo. La temperatura puede verse afectada por factores ambientales y no está específicamente regulada en el DS N° 031 - 2010 - SA. Comparando con las tesis, estos valores son consistentes con los registrados en estudios anteriores, por ejemplo, Castillo-Díaz (2016) y Díaz-Edquén (2016) informaron temperaturas entre 16.3°C y 15.73°C.

Dureza Total

La dureza total del agua en el Reservorio mostró un valor de 251.6 mg/l en el primer periodo y aumentó a 318.9 mg/l en el segundo. Este incremento podría deberse a un mayor aporte de sales de calcio y magnesio, que son los principales componentes que determinan la dureza del agua. La norma DS N 031 - 2010 - SA establece un límite de 500 mg/l, por lo que los valores obtenidos se encuentran bien por debajo de este límite, garantizando la potabilidad del agua en términos de este parámetro. Según la tesis de (Díaz-Edquén, 2016), la dureza total en el Reservorio fue de 160 ppm, lo que sugiere una posible variabilidad en la contribución de sales a lo largo del tiempo.

Oxígeno Disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua en el Reservorio fue de 6.6 mg/l en el primer periodo y se incrementó levemente a 6.9 mg/l en el segundo. Aunque la norma DS N 031 - 2010 - SA no establece un límite para este parámetro, valores por encima de 5 mg/l suelen ser adecuados para la mayoría de los organismos acuáticos. En la tesis de (Hidalgo-Lozano, 2021), el oxígeno disuelto fue de 3.26 mg/l en el Reservorio, lo que indica que nuestra investigación encontró un mejor resultado en este aspecto.

Coliformes Totales

Los valores de coliformes totales pasaron de 29 NMP/100ml en la plata de tratamiento a menos de 1.1 NMP/100ml en el reservorio durante el primer periodo; el mismo comportamiento se obtuvo en el segundo periodo, pues los resultados pasaron de 25

NMP/100ml en la plata de tratamiento a menos de 1.1 NMP/100ml en el reservorio; lo que muestra una significativa reducción de las cifras. Esta reducción sería el resultado de los procesos de desinfección y cloración del agua realizada en el reservorio. En comparación con el estándar DS N 031 - 2010 - SA de 1.8 NMP/100ml, los resultados del primer y segundo periodo muestran un cumplimiento exitoso de este límite. En el estudio de (Quispe-Oporto, 2022), los coliformes totales en el Reservorio fueron menores a 1 NMP/100ml, en línea con nuestros hallazgos del segundo periodo.

Coliformes Termotolerantes

Similar a los coliformes totales, los coliformes termotolerantes también mostraron una reducción significativa de 21 NMP/100ml en la plata de tratamiento a menos de 1.1 NMP/100ml en el reservorio durante el primer periodo y de 19 NMP/100ml en la plata de tratamiento a menos de 1.1 NMP/100ml en el reservorio durante el segundo periodo, lo cual está por debajo del estándar de 1.8 NMP/100ml de DS N 031 - 2010 - SA. Este hecho muestra la eficiencia del sistema de tratamiento del agua en la eliminación de estos organismos. La tesis de (Díaz-Edquén, 2016) mostró 0 coliformes termotolerantes en el Reservorio, lo cual coincide con nuestros hallazgos tanto en el primer como en el segundo periodo de monitoreo.

Escherichia coli

En cuanto a *Escherichia coli*, los valores disminuyeron de 28 NMP/100ml en la planta de tratamiento a menos de 1.1 NMP/100ml en el reservorio durante el primer periodo y de 26 NMP/100ml en la planta de tratamiento a menos de 1.1 NMP/100ml en el reservorio durante el segundo periodo. Este cambio indica una mejora en la calidad del agua en términos de eliminar *E. coli*. Ambos valores están por debajo del límite establecido en el DS N 031 - 2010 - SA que es de 1.8 NMP/100ml. Comparando con las tesis, (Quispe-Oporto, 2022) reportó un valor menor a 1 NMP/100ml en el Reservorio, lo que respalda nuestros resultados en ambos periodos.

4.1.4. Red de distribución

A continuación, se presentan y discuten los resultados que se muestran en la Figura 5 y la Tabla 14.

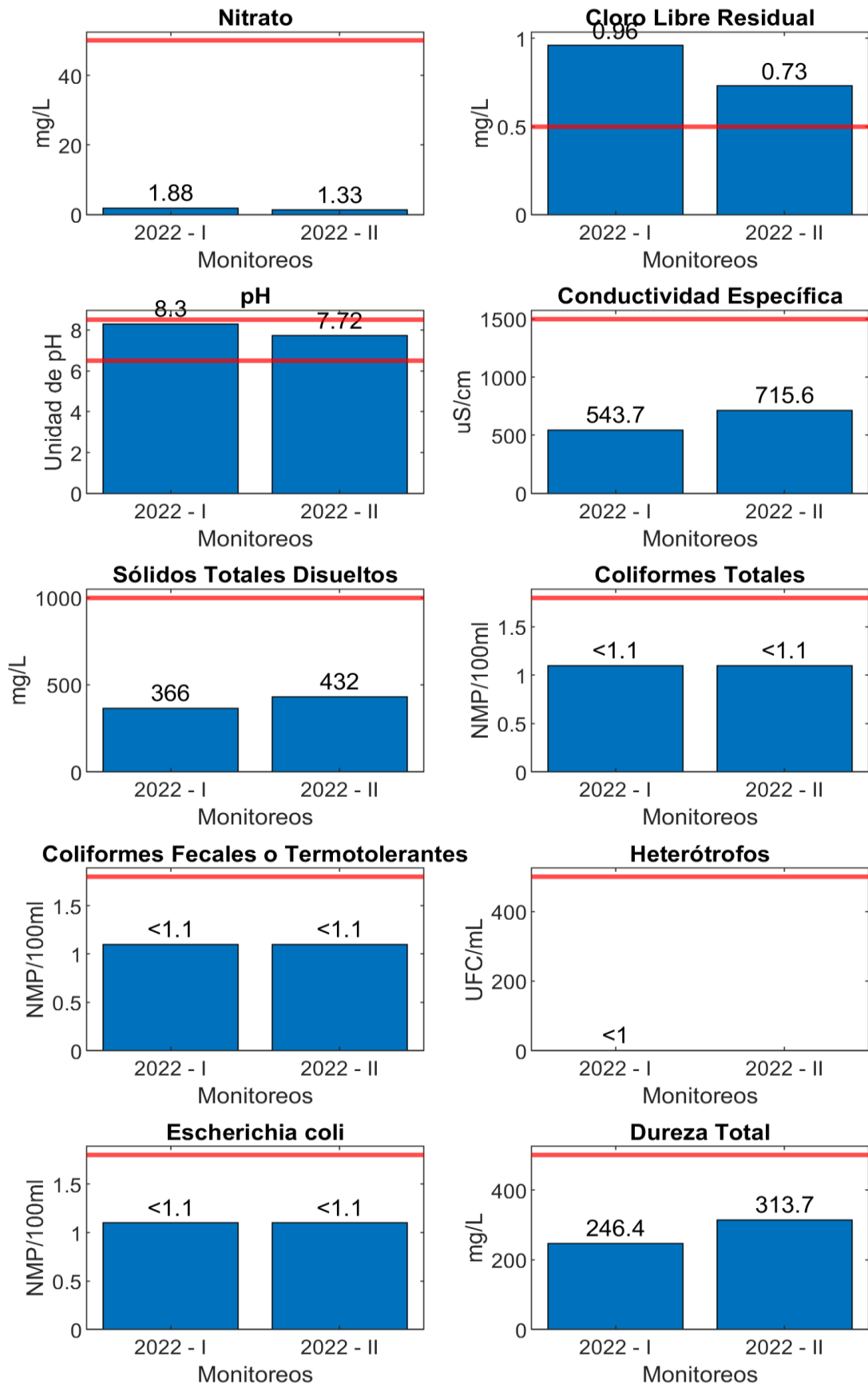


Figura 5. Parámetros de calidad hallados en la Red de Distribución para los monitoreos 2022 – I y 2022 – II comparados con el DS. N° 031 – 2010 – SA

Cloro residual

En los períodos de 2022 - I y 2022 - II, los valores encontrados de cloro residual en la red de distribución fueron de 0.96 mg/l y 0.73 mg/l respectivamente. De acuerdo con el Decreto Supremo (DS) N° 031 - 2010 - SA, que establece que el valor del cloro libre residual debe ser mayor o igual a 0.5 mg/l, los valores encontrados cumplen con la normativa, lo que indica que hay suficiente cloro para desinfectar cualquier posible contaminante en el agua. Comparando estos valores con los del reservorio, podemos notar que hay una disminución de la concentración de cloro residual desde el reservorio hasta la red de distribución. Esto puede deberse a que el cloro se consume a lo largo del trayecto en reacciones con la materia orgánica o se volatiliza a la atmósfera. Es interesante observar que, en el segundo monitoreo, se presenta una anomalía donde la concentración de cloro residual es menor en el reservorio (0.1 mg/l) comparado a la red de distribución (0.73 mg/l). Esto puede deberse a una posible variación en la mezcla de cloro en el reservorio, lo que podría generar un gradiente de concentración. Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los de las tesis citadas, se puede observar que los valores son superiores a los obtenidos por (Hidalgo-Lozano, 2021), quien encontró un valor de 0.05 mg/l en la red de distribución. Este resultado podría indicar un mejor manejo del proceso de cloración en el presente estudio, lo cual es un aspecto positivo para la calidad del agua suministrada.

Nitratos

Los valores registrados de nitrato en la red de distribución fueron 1.88 y 1.33 mg/l en el primer y segundo periodo respectivamente. Comparados con el DS N° 031 - 2010 - SA, que estipula un valor límite de 50 mg/l, los niveles encontrados están muy por debajo, lo que indica que el agua es segura en este aspecto.

Al comparar los niveles de nitrato en el reservorio y la red de distribución, observamos una leve disminución. Este cambio podría ser debido a factores naturales, como la dilución con otras fuentes de agua, o bien podría ser resultado de la utilización de nitratos por microorganismos en la red.

En comparación con las tesis citadas, los valores de nitrato en nuestra investigación son superiores a los encontrados por Castillo-Díaz (2016), con niveles de 0.3 mg/l en el reservorio y 0.26 mg/l en la red, pero inferiores a los reportados por Quispe-Oporto (2022), con niveles de 0.214 mg/l en el reservorio.

pH

Los valores de pH en la red de distribución fueron de 8.3 y 7.72 en el primer y segundo periodo respectivamente. Según la norma DS N° 031 - 2010 - SA, los valores de pH deben estar en el rango de 6.5 a 8.5. Por lo tanto, los valores encontrados cumplen con estos requisitos, aunque en el primer periodo se encuentran en el extremo superior del rango.

Cuando comparamos los valores de pH del reservorio con la red de distribución, vemos una disminución leve. Esto podría ser debido a varios factores, incluyendo las reacciones químicas en la red de distribución que podrían reducir el pH.

En comparación con las tesis citadas, nuestros valores de pH son similares a los encontrados por Díaz-Edquén (2016), con valores de 7.42 en la red de distribución, pero son ligeramente superiores a los encontrados por Hidalgo-Lozano (2021), con valores de 7.67 en la red de distribución.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Los valores de DBO fueron inferiores a 2 mg/l tanto en el reservorio como en la red de distribución durante ambos periodos. No existe un estándar especificado para la DBO en el DS N° 031 - 2010 - SA, pero de acuerdo con el DS N° 004-2017-MINAM, el límite es de 5 mg/l, por lo tanto, los valores encontrados están por debajo del límite, indicando que la calidad del agua es buena en este parámetro.

Cuando comparamos los valores del reservorio con la red de distribución, no vemos ninguna variación en la DBO, lo que indica que la cantidad de materia orgánica biodegradable no cambió en el camino desde el reservorio hasta la red de distribución. En las tesis citadas, los valores de DBO encontrados en esta investigación son consistentes con los reportados por De la Cruz- Huaman (2021) que encontró 6.725 mg/l en el punto de captación, pero no reportó valores para la red de distribución.

Conductividad Específica

Los valores de conductividad específica en la red de distribución fueron de 432 y 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el primer y segundo periodo respectivamente. El DS N° 031 - 2010 - SA no establece un valor límite para este parámetro, pero estos valores están dentro del rango normalmente aceptado para el agua potable. Al comparar los valores del reservorio y la red de distribución, se observa una leve disminución en la conductividad específica. Esto podría ser debido a la dilución del agua durante su distribución.

Sólidos Totales Disueltos

Los valores de sólidos totales disueltos en la red de distribución fueron de 275 y 240 mg/l en el primer y segundo periodo respectivamente. El límite de acuerdo con el DS N° 031 - 2010 - SA es de 1500 mg/l, lo que indica que el agua es segura en este aspecto.

Temperatura

La temperatura del agua en la red de distribución fue de 15.4 y 15.1 °C en el primer y segundo periodo respectivamente. No hay un límite establecido en el DS N° 031 - 2010 - SA para este parámetro.

Dureza Total

Los valores de dureza total fueron de 100 y 90 mg/l en el primer y segundo periodo respectivamente. Según el DS N° 031 - 2010 - SA, los valores de dureza total deben estar en el rango de 50 a 500 mg/l. Por lo tanto, los valores encontrados cumplen con estos requisitos.

Oxígeno Disuelto

Los valores de oxígeno disuelto fueron de 7.2 y 7.1 mg/l en el primer y segundo periodo respectivamente. No hay un límite establecido en el DS N° 031 - 2010 - SA para este parámetro.

Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli y Heterótrofos

No se encontraron coliformes totales, coliformes termotolerantes, E. coli o heterótrofos en ninguna de las muestras tomadas de la red de distribución. Esto está en línea con los requisitos del DS N° 031 - 2010 - SA, que requiere que el agua potable esté libre de estos microorganismos. En conclusión, los resultados muestran que el agua de la red de distribución cumple con los parámetros de calidad establecidos por el DS N° 031 - 2010 - SA, y se puede considerar segura para el consumo humano. Sin embargo, es importante continuar con el monitoreo regular para asegurar que se mantenga esta calidad.

4.2. Índice de calidad y contaminación

4.2.1. Índice de Calidad

En la Figura 6 se evalúa la calidad del agua aplicando el ICA – PE, considerando como marco normativo referencial el DS. N° 004 – 2017 – MINAM, específicamente la categoría A2, que son fuentes de agua para consumo humano con previo tratamiento convencional, los resultados muestran que la calidad es excelente de acuerdo con la Tabla 9, los puntajes encontrados en la planta de tratamiento y la red de distribución es de 100% es decir el más alto puntaje sin embargo el puntaje encontrado en la captación es de 59.74% que es un valor también bastante alto. De acuerdo con la Figura 7, en donde se muestran los valores de los excedentes normalizados con respecto a los parámetros de calidad se puede apreciar que solamente es el valor del oxígeno disuelto durante el primer monitoreo en la captación el que se encuentra fuera de rango con respecto a la normativa, esto indica que la fuente es de muy alta calidad.

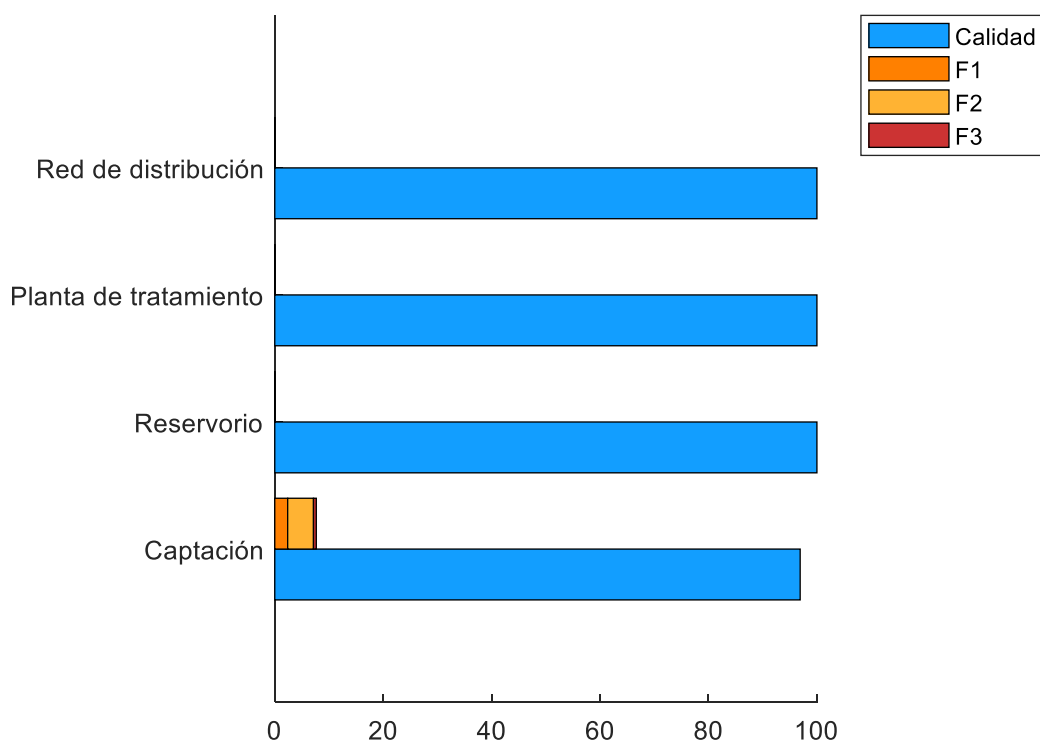


Figura 6. Índice de Calidad de Agua (ICA – PE) aplicando como norma estándar el DS. N° 004 – 2017 – MINAM

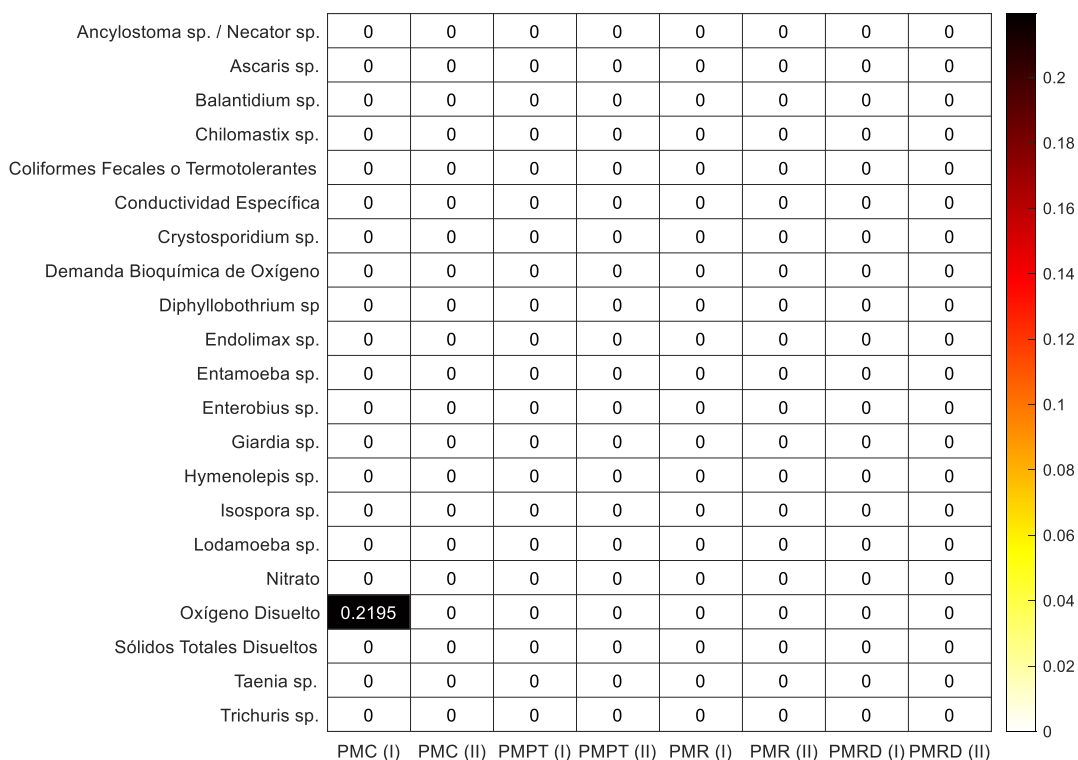


Figura 7. Excedentes normalizados de los parámetros monitoreados en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución con respecto al DS. N° 004 – 2017 – MINAM.

En la Figura 8, se evalúa la calidad del agua aplicando el ICA – PE, considerando como marco normativo referencial el DS. N° 031 – 2010 – SA, este estándar evalúa la calidad del agua para consumo humano directo es decir sin tratamiento previo por lo que es un estándar más exigente.

La calidad del agua en la captación es de 59.19, (F1: 18.00, F2: 20.00 y F3: 65.36), de acuerdo con la Tabla 9, este valor representa una calidad regular, la calidad del agua en la planta de tratamiento es de 72.38, (F1: 72.38, F2: 8 y F3: 16), este valor representa una calidad regular, la calidad del agua en el reservorio es de 69.41, (F1: 10, F2: 20 y F3: 48.04), este valor representa una calidad regular también. Solamente en la Red de Distribución la calidad es excelente con un puntaje de 100, esto debe ser así porque a diferencia de los ECA del DS. N° 004 – 2017 – MINAM, los valores del DS. N° 031 – 2010 – SA, son prohibitivos ya que la exigencia es restrictiva. Los excedentes que sobrepasan los valores del DS. N° 031 – 2010 – SA son principalmente parámetros microbiológicos como se muestran en la Figura 9.

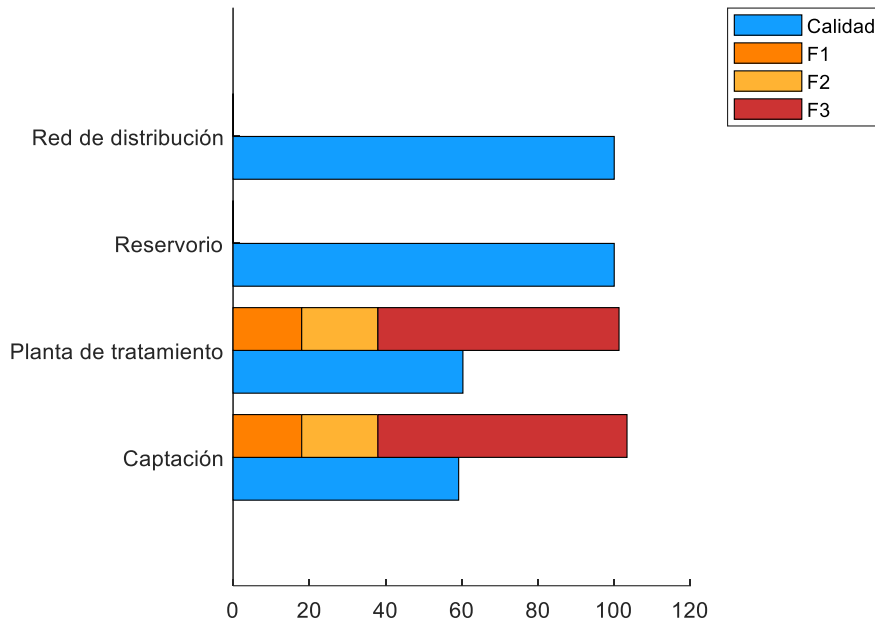


Figura 8. Índice de Calidad de Agua (ICA – PE) aplicando como norma estándar el DS. N° 031 – 2010 – SA

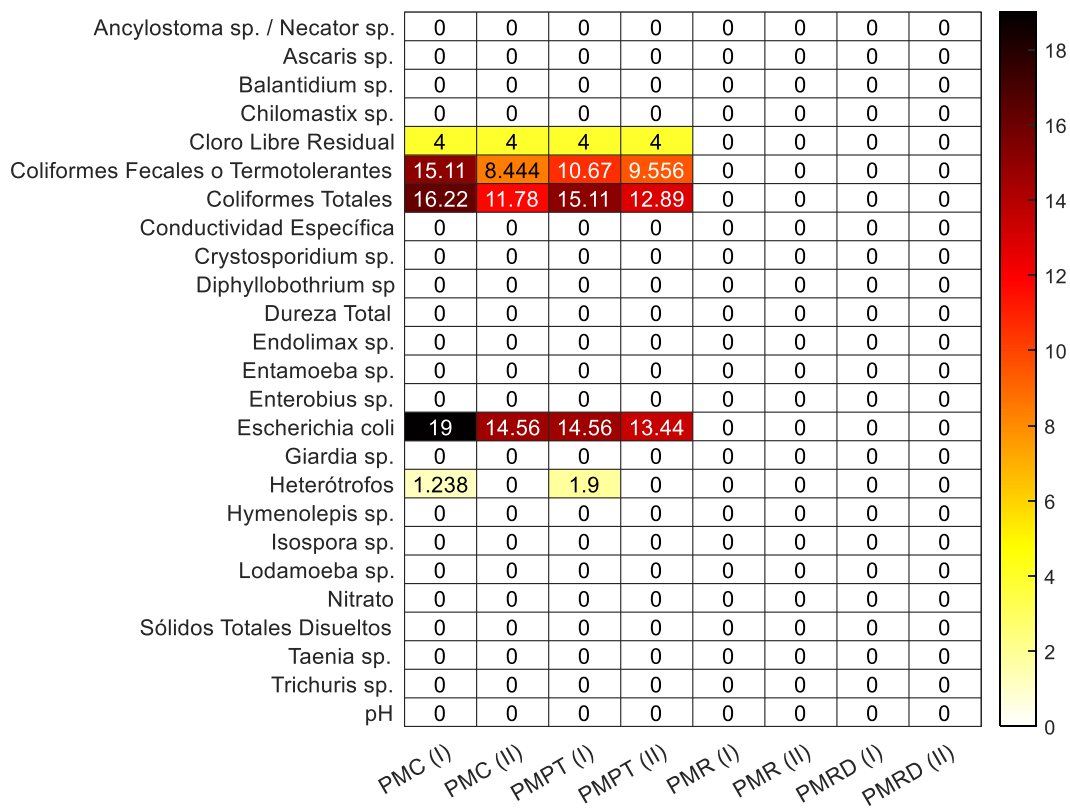


Figura 9. Excedentes normalizados de los parámetros monitoreados en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución con respecto al DS. N° 031 – 2010 – SA.

4.2.2. Índice de Contaminación

Con respecto al índice de contaminación orgánica, tanto los índices de coliformes termo tolerantes o coliformes totales y los valores de DBO, tuvieron un valor de 0, es decir la contaminación orgánica por estos 2 parámetros es nula, sin embargo con respecto a la saturación de oxígeno sí se presentaron valores que oscilaron entre 50 y 45 puntos tanto para los monitoreos del 2022 – I y 2022 – II como se muestra en la Figura 10 , esto indica que sólo existe contaminación térmica y esto como se explicó en apartados anteriores puede deberse a que la fuente de agua está expuesta a las condiciones climáticas lo que eleva la temperatura y además al ser la zona una zona tropical es normal que las temperaturas sean elevadas.

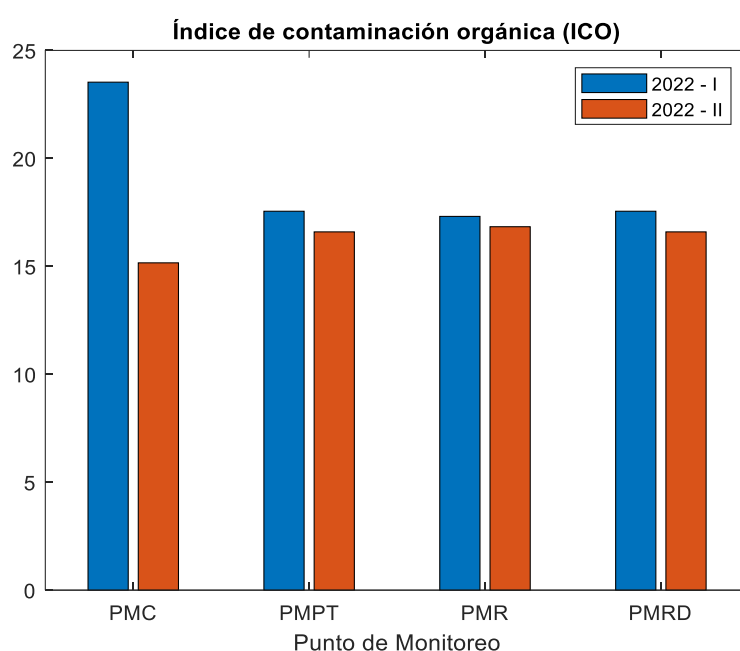


Figura 10. Índices de contaminación (ICO) para los dos periodos de monitoreo

4.3. Eficiencia del sistema de tratamiento

La finalidad del tratamiento es la potabilización del agua en ese sentido se considerará la eficiencia para consumo humano, de acuerdo con la Tabla 15, evaluando el ICA para consumo humano, el valor de calidad en la Captación es Regular con una puntuación de 59.19 y en la Red de Distribución la calidad es Excelente con un puntaje de 100. De acuerdo con la Tabla 12, para un aumento de puntaje desde 59.19 a 100, es decir un aumento de 40.81 puntos y una calidad final > 80 puntos, la eficiencia de la Planta de Tratamiento se considera Muy Buena.

Las mayores eficiencias de remoción fueron para los Coliformes Totales, Coliformes Fecales o Termotolerantes, *Escherichia coli* y Heterótrofos con eficiencias de remoción > 96%, > 96%, > 96% y > 99%, respectivamente, los otros parámetros no sufrieron modificaciones considerables a excepción del cloro residual que aumentó considerablemente por la dosificación de cloro en el tratamiento.

Todos los organismos de vida libre analizados que fueron 15 entre parásitos y protozoarios de acuerdo con la Tabla 11, arrojó un valor de 0, es decir no se encontraron estos organismos lo cual es favorable.

Estas eficiencias registradas para la remoción de microorganismos son comparables con los estudios de (Carrión-Peña, 2021; De la Cruz- Huaman, 2021; Díaz-Edquén, 2016; Hidalgo-Lozano, 2021; Quispe-Oporto, 2022).

Tabla 15. Puntajes de calidad ICA e ICO para el agua como fuente, para consumo directo e intensidad de contaminación orgánica

Punto	Fuente		Consumo		Contaminación	
	Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
Captación	96.74	Excelente	59.19	Regular	19.35	Muy baja
Planta de tratamiento	100.00	Excelente	72.38	Regular	17.13	Muy baja
Reservorio	100.00	Excelente	69.41	Regular	17.19	Muy baja
Red de distribución	100.00	Excelente	100.00	Excelente	17.81	Muy baja

V. CONCLUSIONES

5.1. Comparación con la normativa

Se monitorearon parámetros de calidad de agua para consumo humano en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución y se hicieron las comparaciones con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM y con el DS. N° 031 – 2010 – SA.

Al comparar los parámetros con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM Categoría I – subcategoría A2, se encontró que se cumplieron todos los parámetros monitoreados (28 en total) excepto el oxígeno disuelto en la captación para el periodo 2022 – I, significando una sensibilidad de la fuente a las temperaturas ambientales, que al ser altas disminuyen la saturación de oxígeno disuelto y este disminuye.

Al comparar los parámetros con el DS. N° 031 – 2010 – SA, se encontró que se cumplieron todos los parámetros monitoreados (28 en total) excepto los coliformes fecales, totales, *E. coli*, y heterótrofos, cuya desviación en referencia a la norma fue de un máximo de 4, 15.11, 16.22, 19 y 1.9 veces respectivamente, en la captación en los 2 periodos, en la planta de tratamiento en el segundo periodo y en el reservorio en el primer periodo, lo que demuestra que la correcta desinfección es indispensable antes de que esta fuente vaya a ser destinada para el consumo humano.

5.2. Índices de calidad y contaminación

Considerando la calidad en referencia al DS. N° 004 – 2017 – MINAM, se observa que la calidad es excelente (con puntajes desde 96.74 a 100) en todos los puntos de monitoreo (captación, planta de tratamiento, reservorio y red de distribución). Lo que demuestra que la calidad como fuente es suficiente.

Considerando la calidad en referencia al DS. N° 031 – 2010 – SA, se observa que la calidad es regular en la captación, planta de tratamiento y reservorio, con puntajes desde 59.19 hasta 72.38. Por otra parte, la calidad en la red de distribución es excelente con 100 puntos alcanzados. Lo que demuestra que la calidad para consumo humano solo es adecuada en la red de distribución.

Considerando el índice de contaminación orgánica, la contaminación es muy baja con puntajes menores a 20, el único índice de contaminación orgánica que afectó fue la saturación de oxígeno con puntajes de entre 45 a 50. Esto demuestra que el agua es vulnerable al clima ya que la saturación de oxígeno disminuye con la temperatura.

5.3. Eficiencia de la planta

Considerando que la finalidad de planta es que el agua sea apta para el consumo humano, se considera la eficiencia de la planta en base al ICA en referencia a la norma del DS. N° 031 – 2010 – SA, en ese contexto, la calidad del agua en la captación fue de 59.19 y aumento hasta 100 en la red de distribución, haciendo un aumento de 40.81 puntos, haciendo que la eficiencia sea Muy Buena y que el agua sea apta para el consumo humano.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Realizar un estudio más extenso sobre la desinfección, con monitoreos más prolongados, ya que como se vio, la fuente de agua en la captación presenta valores elevados de microorganismos, que, aunque como fuente, son valores esperados, representa un alto riesgo a la salud si es que la desinfección no es correcta en todo el tiempo, ya que se sabe que es difícil garantizar una cloración óptima continua en los sistemas de agua potable.

Proteger contra el clima las partes del sistema de agua potable, ya que se pudo observar que la temperatura ambiental afecta a la temperatura del agua y esta a la disponibilidad de oxígeno, lo que facilita la proliferación de microorganismos, por otro lado, es importante destacar que, por el cambio climático, eventos como lluvias intensas o temperaturas vayan a ir cambiando, poniendo en mayor peligro el agua en las diferentes partes del sistema

Realizar el análisis de la eficiencia de tratamiento de la planta con respecto a otros parámetros importantes como son la turbiedad o alcalinidad, ya que estos parámetros condicionan la efectividad de otros procesos de tratamiento, por ejemplo, la turbiedad condiciona la eficiencia de cloración, por lo que es importante analizar ambos parámetros en monitoreos más extendidos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alejo Quispe, E. J., & Flores Herrera, B. I. (2021). Influencia de un sistema de ecotratamiento de agua potable para mejorar la calidad del agua de consumo humano, Nazca – 2021 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71774>
- ANA. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales* (p. 55). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA.
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (2da ed.). Eds. Díaz de Santos.
- Atencio-Santiago, H. (2018). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de la localidad de San Antonio de Rancas, del distrito de Simón Bolívar, provincia y Region de Pasco - 2018* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/428/1/T026_70776177_T.pdf
- Aurazo-Zumaeta, M. (2004). *Manual para el análisis básico de calidad del agua de bebida* (2nd ed.). <http://www.cepis.ops-oms.org>
- Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 2(2), 161–173. <https://doi.org/10.1007/S40899-015-0014-7/FIGURES/1>
- Carrión-Peña, C. (2021). *Evaluación del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en el centro poblado Pueblo Nuevo de Maray - Morropón - 2020*. Universidad Nacional de Piura.
- Castillo-Díaz, R. T. (2016). *Control fisicoquímico del sistema de tratamiento de agua potable en el distrito de Sucre* [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- CCME. (2017). *Canadian Environmental Quality Guidelines Canadian Council of Ministers of the Environment*. http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/calculators.html.
- CPIS/OPS/OMS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf

- De la Cruz- Huaman, B. E. (2021). *Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable en el centro poblado Catarata, distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento de Cusco y su incidencia en la condición sanitaria de la población - 2021*. Universidad Católica los Ángeles de Chimbote.
- Díaz-Edquén, W. E. (2016). *Calidad de agua de uso poblacional de la ciudad de Chota - Cajamarca 2014* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- DIGESA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Espitia-Iriarte, N. M. (2019). *Análisis de calidad de agua potable con relación a sus parámetros fisicoquímicos, biológicos, y crecimiento de Lemna minor en la estancia de Lurin, Lima 2015 - 2016* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- García-Saavedra, F. (2016). *Influencia del tratamiento convencional en la calidad del agua para consumo humano en la ciudad de Moyobamba - San Martín* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2822/1/ING.%20SANITARIA%20-%20Fernando%20Garcia%20Saavedra.pdf>
- Hernández - Sampieri, R., Fernández - Collado, C., & Baptista - Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (Cuarta Ed, Vol. 148). McGraw-Hill.
- Hidalgo-Lozano, G. (2021). *Evaluación del servicio de agua potable y su efecto en la calidad de vida de los habitantes del centro poblado San José de Morro, Moyobamba, 2020*. Universidad Nacional de San Martín.
- INEI. (2017). *Sistema de Consulta de Abastecimiento de Agua por Red Pública a Nivel de Manzana*. <https://agua.inei.gob.pe/>
- Lossio-Ariocoché, M. M. (2012). *Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de lancones* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil]. Universidad de Piura.
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, (2017). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- DS N° 031 - 2010 - SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, (2011). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>

- OMS. (2004). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4th ed.). World Health Organization. <http://apps.who.int/>
- OMS. (2022). *Agua y Saneamiento - OPS*. <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
- Quispe-Oporto, M. (2022). *Evaluación de un sistema de filtrado para remover contaminantes en una planta de tratamiento de agua potable* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ramírez Silva, A. B., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales: Formulación y aplicación. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5587866&info=resumen&idoma=ENG>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/UDEA.RFNSP.V35N2A08>
- SUNASS. (2018). *Agua, bienestar y desarrollo (Memoria Anual)*. https://www.sunass.gob.pe/doc/Memoria/memoria_2018.pdf

ANEXOS

Anexo A. Panel fotográfico

Figura 11. Recolección de las muestra de agua en la captación.



Figura 12. Rotulado y embalado de las muestras en la captación.



Figura 13. Recolección de las muestra de agua en la planta de tratamiento.



Figura 14. Recolección de las muestra de agua en el reservorio.



Figura 15. Recolección de las muestra de agua en la red de distribución.



Figura 16. Embalado final de las muestras de agua.

Anexo B. Informes de ensayo