

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Evaluación de la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red
de distribución en el centro poblado de Maynay**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

LINEA DE INVESTIGACION

Ciencias del Medio Ambiente

AUTOR:

Simbrón Sánchez, Gunnar Eriksson

ASESOR

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra

CO-ASESOR

MSc. La Torre Torres Luis Gonzalo

HUANTA – PERÚ

2026

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS-GUNNAR_SIMBRON_SANCHEZ.docx

AUTOR

GUNNAR ERIKSSON SIMBRON SANCHEZ

RECuento DE PALABRAS

18826 Words

RECuento DE CARACTERES

108653 Characters

RECuento DE PÁGINAS

100 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

12.4MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 27, 2026 10:21 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 27, 2026 10:33 AM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 7% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente
por CARHUALLANQUI
IBARRA Solon Dante
FAU 20574653798 soft
Fecha: 2026.08.27
11:13:07 -05'00'

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE LA CALIDAD DEL
AGUA SUPERFICIAL Y DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN EL CENTRO
POBLADO DE MAYNAY**

AUTOR:

Bach. Simbrón Sánchez, Gunnar Eriksson

ASESOR

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra

CO-ASESOR

MSc. Luis Gonzalo La Torre Torres



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el Aula 01-EP- Ingeniería Ambiental JOSACO, a los 15 días del mes de setiembre de 2026, siendo las 09:30 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito
Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra

Miembro Titular 1 (Presidente)
Miembro titular 2
Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 149-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del **Bach. Gunnar Eriksson Simbrón Sánchez**, con la tesis titulada: **"Evaluación de la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el Centro Poblado de Maynay"**, asesorado por el Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra y coasesorado por el Mcs. Luis Gonzalo La Torre Torres, para optar el Título profesional de: Ingeniero Ambiental.

Observaciones:

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por el tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	()
Aprobado Bueno	(x)
Aprobado Muy Bueno	()
Aprobado Excelente	()

Con la calificación de BUENO (15)

Siendo las ...10:30 AM... se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.

Yomer Cisneros Aguirre
INGENIERO EN AMBIENTE
Y DESARROLLO
C.P. N° 303048

Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
Miembro Titular 1 (Presidente)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE HUANTA

Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito
DOCENTE AUXILIAR
Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito
Miembro Titular 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE HUANTA

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra
Miembro Titular 3

DEDICATORIA

A mis padres Julián Simbrón Rojas y Rosa Sánchez Gavilán, por su esfuerzo incansable, su amor incondicional y la dedicación que siempre han puesto en mi formación personal y profesional. Gracias por ser mi guía, mi apoyo constante y el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Este logro es también suyo, porque sin su sacrificio, paciencia y confianza en mí, no habría sido posible alcanzarlo.

A mis amigos y docentes de la Universidad, ellos fueron mis acompañantes en estos 5 años de carrera, compartimos muchas experiencias que quedaran para el recuerdo.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Huanta y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarme la formación académica, los conocimientos y las herramientas necesarias que han contribuido significativamente en mi desarrollo profesional y en la realización de la presente investigación.

De igual manera, expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor, Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra, y a mi co-asesor MSc. Luis Gonzalo La Torre Torres, por su valioso apoyo, orientación y compromiso durante todo el proceso de titulación. Su dedicación, conocimientos y constante guía han sido fundamentales para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo. Asimismo, agradezco la confianza brindada y el tiempo invertido en cada etapa de esta investigación.

A mis padres por confiar en mí y acompañarme en todos estos años que duró la carrera, por motivarme y no permitirme rendirme a pesar de las dificultades y adversidades, su apoyo fue el pilar para que mi persona pueda concluir satisfactoriamente esta investigación.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el centro poblado de Maynay, Huanta, durante la época de avenida (enero y febrero de 2026). La investigación fue de tipo aplicada, con nivel descriptivo-comparativo y diseño no experimental longitudinal. Se realizaron dos campañas de monitoreo en cinco puntos: captación, reservorio y tres viviendas. Se analizaron parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, color y cloro residual) y microbiológicos (coliformes totales, termo tolerantes y *Escherichia coli*), empleando equipos portátiles y análisis de laboratorio, bajo protocolos normativos. Asimismo, los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (D.S. N.º 004-2017-MINAM) y los Límites Máximos Permisibles (D.S. N.º 031-2010-SA).

Los resultados evidenciaron que la captación presentó la mayor contaminación microbiológica, registrando concentraciones de hasta 240 NMP/100 mL de coliformes totales, 43 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes y presencia de *Escherichia coli*, especialmente durante febrero, influenciado por el incremento de escorrentía y arrastre de sedimentos en época de avenida. Sin embargo, el sistema de tratamiento mostró alta eficiencia en la remoción microbiológica, obteniéndose valores menores a 1.1 NMP/100 mL en el reservorio y en los puntos de la red de distribución, cumpliendo con los límites establecidos por el D.S. N.º 031-2010-SA. Por otro lado, se identificaron incumplimientos en parámetros fisicoquímicos como turbidez de hasta 6.96 NTU en la última vivienda, color aparente de 50 UC y valores de pH que alcanzaron 9.77 en la primera vivienda, superando los límites permisibles. Asimismo, el cloro residual libre presentó concentraciones inferiores a 0.5 mg/L en las viviendas, con valores entre 0.12 y 0.47 mg/L, evidenciando pérdidas durante la distribución y posibles deficiencias en la dosificación y mantenimiento del sistema.

En conclusión, el sistema es eficiente en el control microbiológico, pero presenta deficiencias en parámetros fisicoquímicos, por lo que requiere optimizar el tratamiento y la distribución para garantizar la calidad del agua.

Palabras clave: Calidad de agua, Sistema de abastecimiento, Parámetros microbiológicos, Tratamiento de agua potable, Límites Máximos Permisibles (LMP)

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the efficiency of surface water quality treatment and the distribution network in the town of Maynay, Huanta, during the rainy season (January and February 2026). The research was applied, descriptive-comparative, and employed a longitudinal, non-experimental design. Two monitoring campaigns were conducted at five points: the water intake, the reservoir, and three houses. Physicochemical parameters (pH, turbidity, color, and residual chlorine) and microbiological parameters (total coliforms, thermotolerant coliforms, and *Escherichia coli*) were analyzed using portable equipment and laboratory analysis, following regulatory protocols. The results were then compared with the Environmental Quality Standards (Supreme Decree No. 004-2017-MINAM) and the Maximum Permissible Limits (Supreme Decree No. 031-2010-SA).

The results showed that the water intake had the highest microbiological contamination, registering concentrations of up to 240 MPN/100 mL of total coliforms, 43 MPN/100 mL of thermotolerant coliforms, and the presence of *Escherichia coli*, especially during February, influenced by increased runoff and sediment transport during the rainy season. However, the treatment system showed high efficiency in microbiological removal, achieving values lower than 1.1 MPN/100 mL in the reservoir and at points in the distribution network, complying with the limits established by Supreme Decree No. 031-2010-SA. On the other hand, non-compliance was identified in physicochemical parameters such as turbidity of up to 6.96 NTU in the last house, apparent color of 50 UC, and pH values that reached 9.77 in the first house, exceeding permissible limits. Likewise, free residual chlorine showed concentrations lower than 0.5 mg/L in the homes, with values between 0.12 and 0.47 mg/L, showing losses during distribution and possible deficiencies in the dosing and maintenance of the system.

In conclusion, the system is efficient in microbiological control, but it has deficiencies in physicochemical parameters, so it requires optimization of treatment and distribution to guarantee water quality.

Keywords: Water quality, Water supply system, Microbiological parameters, Drinking water treatment, Maximum Permissible Limits (MPL).

INDICE GENERAL

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	17
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción de la realidad problemática	19
1.2. Formulación del problema de investigación.....	20
1.2.1. Interrogante general.....	20
1.2.2. Interrogantes específicas	20
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos Específicos	20
1.4. Justificación	21
1.5. Operacionalización de variables	22
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes del problema.....	26
2.1.1. Antecedentes internacionales	26
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.1.3. Antecedentes locales	27
2.2. Bases teóricas	28
2.2.1. Calidad del agua	28
2.2.2. Tratamiento del agua superficial	29
2.2.3. Potabilización del agua.....	29
2.2.4. Captación.....	31
2.2.5. Pretratamiento	31
2.2.6. Sedimentador.....	31
2.2.7. Prefiltro.....	32
2.2.8. Filtración	32
2.2.9. Desinfección.....	32
2.2.10. Cloración	33
2.2.11. Reservorio.....	33
2.2.12. Sistemas de abastecimiento de agua	33
2.2.13. Fuentes superficiales de agua	34
2.2.14. Procesos de tratamiento de agua.....	34

2.2.15.	Normativa de calidad del agua	35
2.2.16.	Monitoreo de la calidad del agua.....	35
2.2.17.	Parámetros fisicoquímicos del agua	35
2.2.18.	Parámetros microbiológicos del agua.....	36
2.3.	Definición de términos	36
2.3.1.	Agua potable	36
2.3.2.	Cloro residual libre.....	37
2.3.3.	Hipoclorito de sodio	37
2.3.4.	Potencial de hidrogeno (pH)	37
2.3.5.	Turbidez.....	38
2.3.6.	Color.....	38
2.3.7.	Coliformes totales	38
2.3.8.	Coliformes termotolerantes	39
2.3.9.	Escherichia coli	39
2.3.10.	Punto de muestreo	39
III.	METODOLOGÍA	40
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	40
3.2.	Diseño de la investigación.....	40
3.3.	Ámbito temporal y espacial:.....	41
3.3.1.	Ámbito Temporal	41
3.3.2.	Ámbito Espacial	41
3.4.	Población y muestra.....	43
3.4.1.	Población.....	43
3.4.2.	Muestra.....	43
3.5.	Instrumentos	45
3.6.	Procedimientos	45
3.7.	Toma de muestra.....	47
3.8.	Almacenamiento	48
3.9.	Transporte	48
3.10.	Análisis en laboratorio	49
3.10.1.	Preparación previa al trabajo de campo.....	49
3.10.2.	Preparación de medios de cultivo	49
3.11.	Análisis de datos	55
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1.	Resultados.....	57

4.1.1.	Resumen de los parámetros de calidad de agua en los puntos de monitoreo.....	57
4.1.2.	Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de abastecimiento.....	60
4.1.3.	Análisis espacial del cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles	68
4.2.	Discusiones.....	82
V.	CONCLUSIONES.....	85
VI.	RECOMENDACIONES.....	87
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS		92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de potabilización del agua.....	30
Figura 2. Ámbito espacial del proyecto de estudio	42
Figura 3. Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de calidad de agua.....	44
Figura 4. Flujograma de actividades metodológicas	46
Figura 5. Muestras de agua en el laboratorio	50
Figura 6. Procedimiento en el laboratorio	51
Figura 7. Tubos de ensayo con caldo Lauril Sulfato dispuestos en gradillas para incubación.	51
Figura 8. Resultado presuntivo	52
Figura 9. Caldo E. Coli y Caldo Verde Brillante.....	53
Figura 10. Incubación de tubos de ensayo en la prueba confirmativa.	53
Figura 11. Baño maría para la incubación de tubos confirmativos.	54
Figura 12. Resultado positivo en medios confirmativos.	54
Figura 13. Variación del pH en el sistema de abastecimiento de agua potable.....	61
Figura 14. Variación de turbidez en el sistema de abastecimiento de agua potable.....	62
Figura 15. Variación del color en el sistema de abastecimiento de agua potable	63
Figura 16. Variación del cloro residual en el sistema de abastecimiento de agua potable.....	64
Figura 17. Variación de Coliformes totales en el sistema de abastecimiento de agua potable.	65
Figura 18. Variación de Coliformes termotolerantes en el sistema de abastecimiento de agua potable.	66
Figura 19. Variación de Escherichia coli en el sistema de abastecimiento de agua potable. ..	67
Figura 20. Comparación espacial del pH en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.....	69
Figura 21. Comparación espacial de la Turbidez en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.....	71
Figura 22. Comparación espacial del color en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.....	73
Figura 23. Comparación espacial del cloro residual en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.	75
Figura 24. Comparación espacial de coliformes totales en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.	77

Figura 25. Comparación espacial de coliformes termotolerantes en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.	79
Figura 26. Comparación espacial de <i>Escherichia coli</i> en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	23
Tabla 2 Resultados de los parámetros de calidad de agua en los puntos de monitoreo - campaña enero (época de avenida).....	58
Tabla 3 Resultados de los parámetros de calidad de agua en los puntos de monitoreo - campaña febrero (época de avenida).	59

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental en la gestión integrada de los recursos hídricos, ya que permite el desarrollo social, el equilibrio de los ecosistemas y la realización de diversas actividades sociales y económicas. Su disponibilidad en cantidad y calidad adecuadas es indispensable para asegurar la seguridad alimentaria, mejorar la calidad de vida de la población y contribuir al desarrollo sostenible del medio ambiente. No obstante, la presión ejercida por el crecimiento poblacional, el cambio de uso del suelo y la intensificación de las actividades productivas ha generado una progresiva degradación de las fuentes de agua superficial, principalmente por la descarga de efluentes domésticos, agrícolas e industriales sin tratamiento, el cual afecta negativamente la calidad del recurso hídrico y limita su aprovechamiento para el consumo humano y otros usos prioritarios (Gómez et al., 2021).

El agua potable constituye el principal recurso destinado al abastecimiento de la población. A fin de garantizar su inocuidad, el recurso hídrico debe someterse a procesos de potabilización dirigidos a remover sólidos suspendidos, materia orgánica y patógenos, asegurando el cumplimiento de la normativa sanitaria. Asimismo, el adecuado funcionamiento de las unidades de tratamiento, junto con el mantenimiento de la infraestructura y de la red de distribución, resulta fundamental para conservar la calidad del agua desde la captación hasta el punto de consumo, contribuyendo a la protección de la salud pública y a la prevención de enfermedades de origen hídrico (Blanco, 2018).

En las zonas rurales del Perú, la problemática de la calidad del agua potable se refleja en la limitada cobertura de los servicios básicos, la deficiencia de las infraestructuras de los sistemas de tratamiento, y la mala gestión operativa del recurso hídrico. A ello se suma la falta de monitoreo continuo de la calidad del agua, la escasa capacitación del personal responsable y la insuficiente asignación de recursos para la operación y mantenimiento de los sistemas. Además, el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento adecuado, el manejo inadecuado de residuos sólidos y el desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas en zonas cercanas a las fuentes de captación incrementan la concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e inorgánicos, deteriorando la calidad del agua y representando un riesgo significativo para la salud de la población rural, especialmente en los grupos más vulnerables (Ramírez, 2019).

En el centro poblado de Maynay, ubicado en la provincia de Huanta, el agua superficial utilizada para el proceso de potabilización se encuentra expuesta a diversos factores de

contaminación tanto de origen natural como antrópico. Las variaciones estacionales, como el incremento del caudal y del material suspendido durante la época de lluvias y avenidas, influyen directamente en la calidad del agua cruda, aumentando la turbidez, la carga de sólidos suspendidos y la presencia de microorganismos, lo que dificulta el proceso de tratamiento y reduce la eficiencia de la desinfección. Asimismo, posibles deficiencias en la operación del sistema de tratamiento y en la red de distribución, tales como una dosificación inadecuada de desinfectantes, pérdidas de cloro residual, infiltraciones y deterioro de las tuberías, pueden comprometer la calidad del agua distribuida a la población.

En este contexto, resulta imprescindible evaluar la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y del sistema de distribución en el centro poblado de Maynay, considerando el comportamiento de los principales parámetros (físicoquímicos y microbiológicos) desde la fuente de captación hasta los puntos de consumo. La generación de información técnica confiable permitirá identificar deficiencias en el proceso de potabilización, proponer alternativas de mejora en la gestión del servicio y fortalecer la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes. De esta manera, se contribuirá a garantizar el acceso a agua potable segura, a la protección de la salud de la población y al desarrollo sostenible de la comunidad.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel internacional la gestión y el acceso al agua potable es un problema crítico para la salud pública y el desarrollo sostenible. De acuerdo con Requena (2022), aproximadamente 2,1 mil millones de personas en el mundo no cuentan con servicios de agua gestionados en cantidad y calidad y alrededor de 106 millones consumen directamente de la fuente superficial sin tratamiento, el cual incrementa el riesgo de enfermedades como la cólera, fiebre tifoidea e infecciones causadas por *Escherichia coli*. Este problema se agrava por la contaminación de las fuentes de agua superficiales causadas por las descargas de aguas residuales, minerías, industrias y actividades agrícolas. Asimismo, por los efectos del cambio climático, que alteran la calidad del agua y la seguridad hídrica.

En el contexto nacional, el Perú presenta importantes brechas en el acceso y calidad del servicio de agua potable, especialmente en zonas rurales. Se estima que más de 11 millones de peruanos no poseen acceso adecuado a agua potable ni a sistemas de saneamiento, mientras en el ámbito rural alrededor del 21,3 % de la población carece de conexión a la red pública de agua. Asimismo, solo el 4,7 % de la población rural recibe agua con niveles adecuados de cloro residual, lo que evidencia deficiencias en los procesos de tratamiento y desinfección, así como en la gestión y mantenimiento de los sistemas de distribución (Felix y Chavez, 2022).

A nivel de la región de Ayacucho, si bien la cobertura de acceso al agua para consumo humano alcanza aproximadamente el 92,8%, persisten problemas relacionados con la calidad del agua distribuida. Por otro lado, el déficit en la dosificación del cloro residual y las limitaciones en el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, especialmente en zonas periurbanas y rurales son los principales problemas ocasionados. Además, factores como la descarga de aguas residuales, la erosión de suelos y las variaciones estacionales incrementan las concentraciones de turbidez, afectando la eficiencia del tratamiento y representando un riesgo para la salud de la población (Castro, 2021).

En la zona rural de Huanta, específicamente en el centro poblado de Maynay, el sistema de abastecimiento de agua presenta vulnerabilidades asociadas tanto a la calidad del agua superficial, como al funcionamiento del tratamiento y la red de distribución. Aunque la cobertura del servicio en Huanta supera el 90 %, existen problemas de continuidad, control operativo y mantenimiento de la infraestructura, lo que puede ocasionar pérdida de cloro

residual, infiltraciones y deterioro de la calidad del agua en los puntos de consumo. Estas condiciones evidencian la necesidad de evaluar la eficiencia del tratamiento y de la red de distribución, con el fin de garantizar agua segura y proteger la salud de la población. Ante estas problemáticas se presentan las siguientes preguntas:

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Interrogante general

¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el centro poblado de Maynay?

1.2.2. Interrogantes específicas

¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial de la fuente de abastecimiento, conforme a los criterios establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM?

¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de consumo humano del sistema de la red de distribución, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA?

¿Cuáles son las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de distribución en el centro poblado de Maynay?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el centro poblado de Maynay.

1.3.2. Objetivos Específicos

Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial de la fuente de abastecimiento, conforme a los criterios establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de consumo humano del sistema de la red de distribución, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.

Determinar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de distribución en el centro poblado de Maynay.

1.4. Justificación

Esta investigación se justifica debido que se tiene la necesidad de contar con una evaluación técnica que permita valorar la eficiencia del tratamiento del agua que será destinada para el consumo humano en el centro poblado de Maynay, considerando que la información disponible sobre el desempeño real del sistema de abastecimiento es limitada. En este contexto, generar evidencia científica y técnica sobre la calidad del agua desde la fuente superficial hasta la red de distribución resulta fundamental para fortalecer la gestión de los recursos hídricos y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la normativa vigente (Mayca, 2019).

El estudio aportará un análisis de los principales parámetros en las distintas etapas del sistema de abastecimiento, lo que permitirá identificar el nivel de eficiencia del tratamiento aplicado y detectar posibles deficiencias en los procesos de potabilización y distribución. Esta información será especialmente útil para las autoridades locales y las entidades competentes, ya que facilitará la planificación de mejoras en la infraestructura, operación y mantenimiento del sistema de agua potable, basadas en datos técnicos confiables (Torres, 2020).

Desde el ámbito social y sanitario, la investigación beneficiará a la población del centro poblado de Maynay al proporcionar un diagnóstico claro y objetivo sobre la calidad del agua que consumen, promoviendo su participación informada en los procesos de vigilancia del servicio. Asimismo, los resultados contribuirán a la protección de la salud pública, a la reducción de enfermedades de origen hídrico y al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad (Vásquez, 2024).

Mediante la metodología aplicada en esta investigación, se determinó la eficiencia que tiene el sistema de tratamiento de agua potable, de este manera permite realizar un diagnóstico que parte desde la fuente superficial hasta los puntos de distribución que son las viviendas, esto

con la finalidad de valorar la calidad del servicio de potabilización del agua brindada por las autoridades Jass del centro poblado de Maynay.

1.5. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE

Eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial

VARIABLE DEPENDIENTE

Red de distribución

Tabla 1
Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial (VI)	El tratamiento del agua superficial es el conjunto de procesos físicos y químicos aplicados al agua proveniente de fuentes superficiales con el propósito de remover sólidos suspendidos, reducir la turbidez, mejorar sus características fisicoquímicas y eliminar microorganismos	El tratamiento del agua superficial se evaluará mediante el funcionamiento de las unidades que conforman el sistema de tratamiento del centro poblado de Maynay (pretratamiento, sedimentación, prefiltración, filtración y desinfección), considerando su efecto sobre	• Pretratamiento	• Remoción de sólidos gruesos. • Disminución inicial de sólidos suspendidos.
			• Sedimentación	• Reducción de turbidez. • Remoción de sólidos sedimentables.
			• Prefiltración	• Retención de partículas de mayor tamaño. • Disminución parcial del color y la turbidez.

patógenos, a fin de obtener agua apta para el consumo humano. Este tratamiento comprende de manera integral las diferentes unidades y procesos que intervienen en la potabilización del agua, cuya acción secuencial permite garantizar la calidad del agua distribuida a la población (Gómez, 2018).

la calidad del agua desde la captación hasta el reservorio y posteriormente en la red de distribución, de acuerdo con los parámetros establecidos en la normativa vigente.

- Filtración

- Remoción de partículas finas.
- Mejora de la calidad fisicoquímica del agua.

- Desinfección

- Tipo de desinfectante utilizado (hipoclorito de sodio).
 - Dosificación aplicada (mg/L).
 - Concentración de cloro residual libre (mg/L).
 - Punto de aplicación (reservorio).
-

Red de distribución (VD)	La red de distribución es el conjunto de tuberías, conexiones y elementos hidráulicos destinados a conducir y distribuir el agua tratada desde el reservorio hasta los puntos de consumo, asegurando que el agua mantenga condiciones adecuadas de calidad durante su recorrido hacia la población. (Ramírez, 2019).	La red de distribución fue evaluada a través de la calidad del agua en los puntos de distribución considerando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante mediciones in situ y análisis de laboratorio en la Universidad Nacional Autónoma de Huanta (UNAH), donde se verificará el cumplimiento con el D.S. 031-2010-SA.	Calidad fisicoquímica	• Color • pH • Turbiedad • Cloro residual
			Calidad microbiológica	• Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y Escherichia coli
			Cumplimiento normativo	Cumple / No cumple (D.S. 031-2010-SA)

Nota: Elaboración propia

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Goenaga y Martínez (2017), en su investigación titulada “Análisis de la calidad de agua para consumo humano en el corregimiento de La Peña en el Atlántico y determinación del riesgo potencial para la salud humana”, evaluaron la calidad del agua subterránea utilizada para abastecer a la población. Los resultados reportaron altas concentraciones microbiológicas, con coliformes totales y fecales por encima del límite normativo (0 UFC/100 mL). En los puntos evaluados se registraron valores que alcanzaron hasta 1000 UFC/100 mL en coliformes totales y 1 UFC/100 mL en coliformes fecales, lo que confirma una fuerte contaminación biológica. Asimismo, parámetros fisicoquímicos como alcalinidad y fosfatos excedieron los niveles permisibles establecidos en la Resolución 2115 de 2007. El cálculo del IRCA arrojó un riesgo del 65 %, clasificando el agua como no apta para consumo humano. Las autoras concluyen que la contaminación se asocia a fosas sépticas cercanas, filtraciones en tuberías y actividades acuícolas, recomendando la implementación urgente de procesos de potabilización.

Por su parte, Cisneros (2024), en la tesis “Análisis de la calidad del agua de consumo en la red de distribución de agua potable del sector urbano del cantón Chambo”, analizó ocho puntos de la red de distribución en Ecuador. Los resultados revelaron turbidez elevada, alcanzando hasta 39.3 NTU en época de lluvia (límite 5 NTU), y valores de color que llegaron a 293.5 Pt-Co (límite 15 Pt-Co). En el análisis microbiológico se evidenció la presencia de coliformes fecales en todos los puntos, incluidos aquellos que reciben tratamiento, confirmando fallas en la desinfección. Además, se halló cloro residual libre insuficiente, con valores entre 0.01 y 0.15 mg/L, por debajo del rango normativo de 0.3 a 1.5 mg/L. El estudio señala deficiencias en la infraestructura de filtración, saturación del sistema durante la época de lluvias y falta de mantenimiento, factores que comprometen la calidad del agua distribuida.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Atencio (2018), en la tesis “Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de San Antonio de Rancas”, evaluó parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua destinada a consumo. Los resultados indicaron que coliformes totales alcanzaron 900 y 1000 UFC/100 mL, mientras que los coliformes fecales

fueron 1 UFC/100 mL en ambos puntos evaluados, superando el límite de 0 UFC/100 mL establecido por el DS 031-2010-SA. En cuanto a parámetros físicos, el pH (7.22–7.81), temperatura (6.4–8.9 °C) y sólidos disueltos totales (200–210 mg/L) se mantuvieron dentro de los valores permitidos. El estudio concluyó que la contaminación bacteriológica descalifica el agua para consumo, recomendando mejoras en desinfección y control de fuentes.

Vásquez (2024), en el trabajo titulado “Percepción y calidad del agua para consumo humano en función a indicadores bacteriológicos en la comunidad de Olmos”, determinó que las fuentes de agua presentan elevadas cargas bacterianas. En el manantial La Paccha, los coliformes totales variaron entre 5.1 y 220 NMP/100 mL, y los coliformes termotolerantes entre 1 y 110 NMP/100 mL; mientras que en el manantial El Vado, los valores oscilaron entre 1 y 540 NMP/100 mL (coliformes totales). Los reservorios también mostraron contaminación, con valores de 6.9 a 69 NMP/100 mL. La percepción de la población fue negativa respecto a olor, sabor y color, reflejando problemas de calidad y desinfección insuficiente.

Cabrera y Gallardo (2022), en la investigación “Análisis de calidad del agua para consumo humano del sector La Perla Escondida, Jaén”, reportaron niveles elevados de turbidez llegando hasta 51.9 NTU (límite 5 NTU), así como conductividad eléctrica entre 634 y 1038 μ S/cm, dureza hasta 411.55 ppm, y alcalinidad hasta 429.12 ppm. En el ámbito microbiológico, los coliformes totales alcanzaron valores de hasta 6800 NMP/100 mL, y los coliformes fecales/termotolerantes hasta 3600 NMP/100 mL, incumpliendo ampliamente el DS 031-2010-SA. El estudio concluyó que la presencia bacteriana descalifica el agua y recomendó mejoras en almacenamiento, pretratamiento y desinfección.

Finalmente, Torres (2020), en la tesis “Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el centro poblado de Pomalca, Soritor–Moyobamba”, determinó que varios parámetros superaron los límites permitidos, como la turbidez, que alcanzó 7.57 NTU, el cloro residual, con 0.0 mg/L, y la presencia de coliformes totales, fecales y *E. coli* en diferentes meses. La calidad mejoró únicamente cuando se aplicó adecuadamente el proceso de cloración en enero, demostrando la importancia del tratamiento continuo para garantizar la potabilidad del agua.

2.1.3. Antecedentes locales

En la provincia de Huanta, diversos estudios han evaluado la calidad del agua para consumo humano en sistemas rurales, evidenciando problemas recurrentes asociados a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. En la comunidad de Pichiurara, Huanta, Quispe

(2025) evaluó la calidad del agua potable y determinó que los parámetros microbiológicos, como coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, se mantuvieron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (<1,8 NMP/100 mL). Asimismo, los parámetros fisicoquímicos como turbidez, pH, color verdadero y cloro residual cumplieron con los estándares normativos; sin embargo, el estudio evidenció que el 41,1 % de la población desconocía el proceso de tratamiento aplicado, lo que resalta la necesidad de fortalecer el monitoreo y la gestión del servicio de agua potable.

De manera similar, Ramírez et al., (2019) evaluaron la calidad del agua potable en los distritos de Ocana, Pichurara y Luricocha, provincia de Huanta, analizando parámetros como pH, turbidez, sólidos disueltos totales y coliformes bacterianos en época de estiaje y lluvias. Los resultados mostraron que, si bien la temperatura del agua se mantuvo dentro de rangos permisibles (19–22,5 °C), la turbidez superó los valores establecidos por la normativa en el distrito de Ocana, y el pH excedió el límite superior de 8,5 en algunas localidades. Asimismo, se registraron concentraciones de cloro residual cercanas a 0,4 mg/L, asociadas a la presencia de coliformes totales, lo que evidencia deficiencias en la desinfección del agua y riesgos potenciales para la salud de la población.

Por otro lado, Palomino (2016) evaluó la calidad del agua de consumo humano en el distrito de Anco, provincia de La Mar, región Ayacucho, analizando muestras de reservorios y grifos domiciliarios. Los resultados indicaron que el 100 % de las muestras presentaron coliformes totales por encima de los límites máximos permisibles y presencia de coliformes termotolerantes en varias comunidades. Asimismo, el cloro residual fue nulo (0,0 mg/L) en todas las muestras analizadas, evidenciando deficiencias significativas en el proceso de desinfección y un alto riesgo sanitario para la población.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad del agua

La calidad del agua es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan la idoneidad para un uso específico, como el consumo humano, riego o preservación de ecosistemas acuáticos. Según Chapman (1996), la calidad del agua está directamente relacionada con la concentración de sustancias disueltas, sólidos en suspensión y organismos presentes, los cuales pueden verse afectados por procesos naturales y actividades antrópicas. La evaluación de la calidad del agua permite identificar alteraciones que comprometen la salud

humana y el equilibrio ambiental, siendo una herramienta fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Asimismo, Sempértégui (2021). Señalan que la calidad del agua se determina mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos, como pH, turbidez y oxígeno disuelto, así como parámetros microbiológicos que evidencian contaminación de origen fecal. Estos indicadores permiten establecer el nivel de tratamiento requerido para que el agua sea apta para consumo humano. De acuerdo con Flores (2017), un control adecuado de la calidad del agua contribuye a prevenir enfermedades de origen hídrico y a garantizar la eficiencia de los sistemas de tratamiento y distribución, especialmente en zonas rurales y centros poblados.

2.2.2. Tratamiento del agua superficial

El tratamiento del agua superficial constituye una etapa esencial dentro de los sistemas de abastecimiento de agua potable, debido a que las fuentes superficiales presentan mayor exposición a contaminantes físicos, químicos y microbiológicos en comparación con las fuentes subterráneas. La calidad del agua cruda varía significativamente en función de factores hidrológicos, climáticos y del uso del suelo en la cuenca, lo que obliga a aplicar procesos de tratamiento capaces de adaptarse a dichas variaciones y garantizar condiciones sanitarias adecuadas para el consumo humano (Montgomery y Elimelech, 2007).

En zonas rurales, el tratamiento del agua superficial suele realizarse mediante sistemas convencionales o simplificados, cuya eficiencia depende en gran medida del diseño hidráulico y de la correcta operación de cada una de sus unidades. Investigaciones desarrolladas en cuencas altoandinas del Perú evidencian que, durante la época de lluvias, el incremento de la turbidez y de la materia orgánica reduce la eficiencia de los procesos de tratamiento, generando fallas en la remoción de contaminantes y afectando la calidad del agua distribuida. En este contexto, la evaluación del tratamiento del agua superficial resulta fundamental para identificar deficiencias técnicas y proponer mejoras que permitan asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad para consumo humano (Cárdenas, 2019).

2.2.3. Potabilización del agua

La potabilización del agua comprende un conjunto de procesos técnicos diseñados para transformar el agua cruda proveniente de fuentes superficiales en agua apta para el consumo humano, asegurando su inocuidad y aceptabilidad fisicoquímicos. Estos procesos incluyen la

coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, los cuales permiten la eliminación de sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos patógenos, garantizando que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos por la normativa sanitaria vigente (Droste y Gehr, 2018).

En la figura 01 se muestra de forma general el proceso de tratamiento del agua para su potabilización, desde la captación en la fuente de abastecimiento hasta su distribución final en las viviendas. El esquema permite identificar las principales etapas del tratamiento, como la captación, el tratamiento del agua, la desinfección y la distribución, así como los productos utilizados durante el proceso, los cuales contribuyen a mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano.

Figura 1.
Proceso de potabilización del agua



Nota: Villanueva (2022)

Mediante estos procesos de implementación se puede monitorear cada etapa del proceso de tratamiento, asimismo se puede gestionar de manera adecuada la cantidad y calidad para el abastecimiento en las viviendas, con la finalidad de minimizar los riesgos de contaminación y enfermedades de origen hídrico.

2.2.4. Captación

La captación constituye la primera etapa del sistema de abastecimiento de agua potable y consiste en la infraestructura destinada a recolectar el agua desde una fuente natural, la cual puede ser superficial, como ríos, quebradas o lagunas, o subterránea, como manantiales. Su función principal es interceptar el flujo de agua y conducirlo hacia las unidades posteriores del sistema de tratamiento. Asimismo, la captación cumple un papel de protección inicial del sistema, ya que mediante el uso de rejillas u otros dispositivos evita el ingreso de materiales de gran tamaño, tales como ramas, hojas, piedras y otros residuos que podrían afectar el funcionamiento de las estructuras de tratamiento o deteriorar la calidad del agua. De esta manera, la captación permite garantizar un suministro continuo y adecuado de agua hacia las siguientes etapas del proceso de potabilización (Felix y Chavez, 2022).

2.2.5. Pretratamiento

El pretratamiento es una etapa inicial dentro del proceso de potabilización del agua, cuyo objetivo principal es remover las partículas sólidas de mayor tamaño presentes en el agua cruda antes de su ingreso a las unidades de tratamiento principales. Durante esta fase se eliminan principalmente sedimentos, arena y otros sólidos suspendidos que pueden afectar la eficiencia de los procesos posteriores, como la filtración. El pretratamiento contribuye a reducir la carga de sólidos y la turbidez del agua, evitando el rápido colmatado de los filtros y mejorando el desempeño del sistema de tratamiento. Entre las unidades más utilizadas en esta etapa se encuentran los desarenadores, rejillas y cámaras de sedimentación, los cuales funcionan principalmente mediante procesos físicos de separación por gravedad (Ramírez, 2019).

2.2.6. Sedimentador

El sedimentador es una unidad de tratamiento en la que se remueven las partículas sólidas suspendidas del agua mediante el proceso de sedimentación por gravedad. En esta etapa, el agua permanece en reposo el tiempo suficiente para que los sólidos de mayor densidad se depositen en el fondo en forma de lodos, mientras que el agua clarificada es conducida a las siguientes etapas del tratamiento. Su función principal es reducir la turbidez y la carga de sólidos, lo que permite mejorar la eficiencia de procesos posteriores como la filtración y la desinfección, siendo fundamental para garantizar una mejor calidad del agua destinada al consumo humano (Palomino, 2016).

2.2.7. Prefiltro

El prefiltro es una unidad de tratamiento utilizada principalmente en sistemas de potabilización de agua superficial en zonas rurales. Su función es reducir la turbidez y remover una parte significativa de los sólidos suspendidos presentes en el agua antes de que este pase a la etapa de filtración final. Generalmente está constituido por capas de material granular de mayor tamaño, como grava o piedra triturada, que retienen las partículas más grandes mediante procesos de filtración física y sedimentación. El uso de prefiltros permite prolongar la vida útil de los filtros lentos de arena y mejorar la calidad del agua que ingresa a las siguientes etapas del tratamiento (Torres, 2020)

2.2.8. Filtración

La filtración es un proceso fundamental dentro del tratamiento de agua potable, mediante el cual se eliminan partículas finas, materia orgánica y una parte importante de los microorganismos presentes en el agua. En los sistemas rurales, uno de los métodos más utilizados es el filtro lento de arena, debido a su simplicidad operativa y bajo costo de mantenimiento. Este sistema consiste en el paso del agua a través de capas de arena fina y grava, donde se produce la retención de partículas mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Además, en la superficie del filtro se forma una capa biológica que contribuye significativamente a la eliminación de bacterias y otros microorganismos, mejorando así la calidad del agua destinada al consumo humano (Atencio, 2018).

2.2.9. Desinfección

La desinfección del agua es un proceso clave dentro del tratamiento de agua potable, orientado a eliminar o inactivar microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades de origen hídrico, como coliformes y *Escherichia coli*. Este proceso se realiza mediante la aplicación de desinfectantes químicos, como el cloro, o mediante métodos físicos, como la radiación ultravioleta, garantizando que el agua cumpla con los estándares microbiológicos para consumo humano (Metcalf y Eddy, 2014).

La eficacia de la desinfección depende de factores como la dosis del desinfectante, el tiempo de contacto y la calidad del agua, incluyendo la presencia de materia orgánica que pueda interferir en el proceso. Por ello, un monitoreo constante es indispensable para asegurar la

seguridad del agua distribuida hasta el punto de consumo y prevenir brotes de enfermedades (Spellman, 2013).

2.2.10. Cloración

La cloración es uno de los procesos de desinfección más utilizados en los sistemas de tratamiento de agua potable, ya que permite eliminar microorganismos patógenos y mantener un nivel de cloro residual libre que protege el agua durante su distribución hasta el punto de consumo. La importancia de este proceso radica en garantizar que los niveles de cloro residual no caigan por debajo de los Límites Mínimos Permitidos (LMP) establecidos por la normativa sanitaria, lo cual es fundamental para prevenir la recontaminación del agua en la red de distribución y asegurar la inocuidad del agua para consumo humano (Calua, 2024).

2.2.11. Reservorio

Un reservorio es una estructura diseñada para almacenar y conservar agua, especialmente agua potable, con el objetivo de garantizar un suministro continuo y estable a la población. Su función principal es compensar las variaciones entre la disponibilidad de agua en las fuentes de captación y la demanda de los usuarios, asegurando la continuidad del servicio incluso durante periodos de escasez o picos de consumo. Además, los reservorios contribuyen a mantener la presión adecuada en las redes de distribución y sirven como reserva en situaciones de emergencia (Pacheco, 2024).

Los reservorios también cumplen un papel importante en la gestión y control de la calidad del agua, ya que permiten realizar procesos de sedimentación y evitar la entrada de contaminantes antes de su distribución. Su diseño y operación adecuada son esenciales para minimizar pérdidas, garantizar la eficiencia del sistema de abastecimiento y proteger la salud pública, asegurando que el agua llegue segura y en condiciones óptimas a los usuarios finales.

2.2.12. Sistemas de abastecimiento de agua

Los sistemas de abastecimiento de agua potable son conjuntos de infraestructuras y procesos diseñados para captar, tratar, almacenar y distribuir agua destinada al consumo humano, garantizando que llegue en cantidad y calidad adecuadas a la población. Según (Gómez, 2018), un sistema de abastecimiento integra captación, conducción, regulación y suministro intradomiciliario, pudiendo operar por gravedad o mediante bombeo según las

características de la fuente y el terreno; además, su adecuada gestión es esencial para satisfacer las necesidades sanitarias, sociales y económicas de la comunidad y promover el desarrollo local

2.2.13. Fuentes superficiales de agua

Las fuentes superficiales de agua comprenden ríos, lagunas, quebradas y otros cuerpos de agua expuestos que sirven de captación para los sistemas de abastecimiento de agua potable. Estos recursos hídricos se caracterizan por estar directamente expuestos a factores ambientales como escorrentía, sedimentos y variaciones climáticas, así como a presiones antrópicas como vertimientos agrícolas y domésticos, lo cual influye en su calidad fisicoquímica y microbiológica. (Flores, 2017).

Debido a esta variabilidad y vulnerabilidad de las fuentes superficiales, es indispensable un monitoreo constante y una evaluación integral de sus características antes de considerarlas como fuentes de agua potable, ya que solo así se puede determinar la necesidad de procesos de tratamiento adecuados que garanticen el cumplimiento de los estándares de calidad para consumo humano (Maldonado, 2025)

2.2.14. Procesos de tratamiento de agua

Los procesos de tratamiento de agua potable son esenciales para asegurar que el agua cruda proveniente de ríos, lagos o manantiales cumpla con los estándares de calidad sanitaria, protegiendo la salud de la población. Estos procesos incluyen la coagulación y floculación, que permiten aglomerar partículas suspendidas y coloidales; la sedimentación, donde los flóculos se depositan por gravedad; la filtración, que elimina partículas residuales mediante medios como arena o carbón activado; y la desinfección, generalmente mediante cloro, que garantiza la inactivación de microorganismos patógenos antes del almacenamiento y la distribución en la red de agua potable. Según Villanueva (2022), la correcta aplicación de estas etapas es clave no solo para reducir turbidez y color, sino también para mantener parámetros microbiológicos seguros, asegurando la disponibilidad de agua potable confiable y minimizando riesgos de enfermedades de origen hídrico en comunidades urbanas y rurales del Perú.

2.2.15. Normativa de calidad del agua

La normativa de calidad del agua establece los límites máximos permisibles para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua destinada al consumo humano, con el fin de proteger la salud pública. En el Perú, el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA regula la calidad del agua potable, incluyendo parámetros como turbidez, cloro residual y microorganismos, mientras que el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los estándares para aguas superficiales, considerando carga contaminante y calidad microbiológica. Estas normas constituyen el marco legal obligatorio para la gestión y control de la calidad del agua, orientando a los sistemas de abastecimiento y a los organismos de supervisión en la implementación de programas de monitoreo y acciones correctivas para asegurar un suministro seguro y confiable a la población, promoviendo además la armonización con estándares internacionales de la OMS.

2.2.16. Monitoreo de la calidad del agua

El monitoreo de la calidad del agua es un proceso sistemático que permite evaluar las características físicoquímicas y microbiológicas del agua para garantizar su seguridad y aptitud para el consumo humano. Este proceso incluye la toma de muestras, el análisis de parámetros como pH, turbidez, sólidos disueltos y coliformes, y la interpretación de los datos para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico (Flores, 2017).

La información generada por estas mediciones es fundamental para optimizar el funcionamiento de plantas de tratamiento, prevenir riesgos sanitarios y garantizar un suministro de agua confiable a la población.

2.2.17. Parámetros físicoquímicos del agua

Los parámetros físicoquímicos del agua son indicadores que permiten evaluar la calidad del recurso hídrico y su aptitud para consumo humano, así como detectar posibles fuentes de contaminación. Entre los más importantes se encuentran el pH, que indica la acidez o alcalinidad del agua; la turbidez, que refleja la presencia de partículas suspendidas; los sólidos totales disueltos (STD) y sólidos suspendidos totales (SST), que muestran la concentración de material en el agua; la conductividad eléctrica, que indica la cantidad de iones presentes; el color y el olor, que pueden evidenciar contaminación orgánica o industrial; y la concentración de metales y nutrientes, como hierro, manganeso, nitrógeno y fósforo, que pueden tener efectos

sobre la salud y el ecosistema acuático. La medición de estos parámetros es fundamental para orientar el diseño de procesos de tratamiento, asegurar el cumplimiento de las normas de calidad del agua y proteger la salud de la población (Calua, 2024).

2.2.18. Parámetros microbiológicos del agua

Los parámetros microbiológicos del agua son indicadores que permiten evaluar la presencia de microorganismos que pueden representar un riesgo para la salud humana. Entre los más relevantes se encuentran los coliformes totales, que indican contaminación general, los coliformes fecales y *Escherichia coli*, que señalan contaminación por materia fecal, y otros patógenos como *Salmonella* o *Clostridium*, que pueden generar enfermedades gastrointestinales (Ramírez, 2019). La determinación de estos parámetros se realiza mediante técnicas de laboratorio como el recuento en placas, el método del número más probable (NMP) y filtración por membrana, y constituye un componente esencial del monitoreo de la calidad del agua, permitiendo tomar decisiones para garantizar la potabilidad y la seguridad del suministro a la población.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Agua potable

El agua potable es aquella que cumple con los estándares de calidad sanitaria establecidos para el consumo humano, asegurando que sea segura para beber, cocinar y otras actividades domésticas. Su potabilidad se garantiza mediante procesos de tratamiento como coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, los cuales eliminan partículas, contaminantes químicos y microorganismos patógenos (Villanueva, 2022). Además, el agua potable debe cumplir con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la normativa, como pH, turbidez, coliformes y *Escherichia coli*, que permiten evaluar su calidad y seguridad.

El acceso a agua potable es fundamental para la salud pública y la prevención de enfermedades de origen hídrico, especialmente en comunidades rurales y urbanas con sistemas de abastecimiento en desarrollo. La implementación de plantas de tratamiento adecuadas, junto con el monitoreo constante de la calidad del agua, permite garantizar un suministro confiable y sostenible, reduciendo los riesgos asociados a la contaminación natural o antropogénica y promoviendo la protección de los recursos hídricos.

2.3.2. Cloro residual libre

El cloro residual libre es la cantidad de cloro disponible en el agua después del proceso de desinfección, capaz de continuar eliminando microorganismos patógenos durante la distribución en la red de agua potable. Este parámetro es fundamental para garantizar la seguridad microbiológica del agua, ya que asegura que se mantenga una acción desinfectante hasta el punto de consumo (Ramírez, 2019). La medición del cloro residual libre permite evaluar la eficiencia de la cloración, detectar posibles pérdidas de desinfectante debido a la presencia de materia orgánica o reacciones químicas en la red, y tomar decisiones sobre ajustes en la dosificación de cloro para cumplir con los estándares de potabilidad establecidos por la normativa. Mantener un nivel adecuado de cloro residual libre es esencial para prevenir brotes de enfermedades de origen hídrico y garantizar un suministro seguro y confiable de agua potable.

2.3.3. Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio (NaClO) es un compuesto químico ampliamente utilizado como agente desinfectante en el tratamiento de agua potable debido a su capacidad para eliminar microorganismos patógenos y mantener un cloro residual libre en la red de distribución. Su acción desinfectante se basa en la liberación de cloro activo, que oxida componentes celulares de bacterias, virus y protozoos, inactivándolos y previniendo enfermedades de origen hídrico (Jimenes y Rincón, 2024). El hipoclorito de sodio es preferido en plantas de tratamiento por su facilidad de dosificación, solubilidad en agua y bajo costo, aunque requiere un manejo cuidadoso, ya que su efectividad disminuye con la presencia de materia orgánica, variaciones de pH y exposición a la luz o temperatura elevada. La dosificación adecuada y el monitoreo del cloro residual libre son esenciales para garantizar la seguridad del agua potable y cumplir con los estándares de calidad establecidos por la normativa.

2.3.4. Potencial de hidrogeno (pH)

El pH del agua es un parámetro fisicoquímico que indica el grado de acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua, medido en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, valores menores indican acidez y mayores indican alcalinidad. Este parámetro es fundamental porque afecta la solubilidad de metales, la eficiencia de la desinfección mediante cloro y otros procesos de tratamiento, así como la estabilidad química del agua distribuida. Un pH fuera de los rangos

recomendados puede causar corrosión o incrustaciones en las tuberías, comprometiendo la calidad del agua potable y la durabilidad de la red de distribución (Flores, 2017).

Por estas razones, el monitoreo constante del pH es esencial en las plantas de tratamiento de agua y sistemas de distribución, permitiendo ajustar procesos como la cloración o la adición de reactivos para corregir desviaciones. Mantener el pH dentro de valores óptimos garantiza no solo la potabilidad del agua, sino también la seguridad y confiabilidad del suministro para la población.

2.3.5. Turbidez

La turbidez es la propiedad del agua que indica la presencia de partículas suspendidas, como sedimentos, arcillas, microorganismos y materia orgánica, que afectan su claridad y apariencia. Este parámetro es fundamental para evaluar la calidad del agua, ya que niveles elevados pueden interferir con la eficacia de los procesos de desinfección y favorecer la proliferación de microorganismos (Ramírez, 2019).

La determinación de la turbidez permite identificar cambios estacionales o contaminación proveniente de fuentes naturales y antropogénicas. Su control es esencial para garantizar que el agua distribuida cumpla con los estándares de potabilidad establecidos por la normativa peruana y asegurar un suministro seguro y confiable para la población.

2.3.6. Color

El color del agua refleja la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden generar tonalidades amarillas, marrones o verdosas, afectando la aceptación estética del agua y pudiendo interferir con la desinfección, reduciendo la eficiencia de procesos como la cloración. Su monitoreo es un parámetro clave para evaluar la calidad del agua y determinar el tratamiento necesario antes de su distribución, ya que mantener el color dentro de los rangos permitidos asegura tanto la seguridad del agua potable como su aceptabilidad por parte de los consumidores (Torres y Coronación, 2021).

2.3.7. Coliformes totales

Los coliformes totales son bacterias utilizadas como indicadores de contaminación microbiológica en el agua destinada al consumo humano, ya que su presencia sugiere

infiltraciones de materia fecal y la posible presencia de patógenos que representan un riesgo sanitario. La detección y control de coliformes totales en fuentes de captación y puntos de consumo es esencial para el monitoreo microbiológico del agua potable, permitiendo orientar acciones correctivas en los procesos de tratamiento, asegurar que el agua distribuida cumpla con los estándares de calidad y seguridad, y prevenir enfermedades de origen hídrico en la población (Sempértégui, 2021).

2.3.8. Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes son un subgrupo de coliformes que indican contaminación fecal reciente en el agua destinada al consumo humano. Su presencia evidencia infiltraciones de materia fecal y posibles fallas en los procesos de desinfección, representando un riesgo directo para la salud de quienes consumen el agua. Este grupo de bacterias se utiliza como un indicador microbiológico confiable para evaluar la seguridad sanitaria del agua y detectar la presencia de patógenos asociados a contaminación fecal (Chuquimia, 2021).

El monitoreo de coliformes termotolerantes es esencial para garantizar que el agua potable cumpla con los límites establecidos por la normativa sanitaria. Su control permite orientar ajustes en los procesos de tratamiento, prevenir enfermedades de origen hídrico y mantener la seguridad del suministro, siendo un componente clave en la gestión y vigilancia de la calidad microbiológica del agua.

2.3.9. Escherichia coli

La *Escherichia coli* (*E. coli*) es una bacteria indicadora de contaminación fecal reciente en el agua destinada al consumo humano, cuya presencia señala un riesgo potencial de patógenos y enfermedades de origen hídrico. Su detección permite evaluar la seguridad microbiológica del agua, identificar posibles fallas en la desinfección y garantizar que el suministro cumpla con los límites establecidos por la normativa sanitaria, siendo fundamental para proteger la salud de la población (Maldonado, 2025).

2.3.10. Punto de muestreo

Es el lugar específico dentro de una fuente de agua, red de distribución o sistema de tratamiento donde se toman muestras para evaluar la calidad del agua. La selección adecuada de los puntos de muestreo permite obtener información representativa de las condiciones

físicas, químicas y microbiológicas del agua, identificar posibles fuentes de contaminación y detectar variaciones estacionales o influencias de actividades humanas. Este procedimiento es fundamental para garantizar la confiabilidad de los análisis, orientar acciones correctivas en el tratamiento y asegurar que el agua suministrada cumpla con los estándares de potabilidad y seguridad sanitaria establecidos por la normativa vigente (Jiménez y Rincón, 2024).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como objetivo analizar y explicar la situación actual del sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado de Maynay. Su enfoque se centra en mejorar la gestión y el control de la calidad del agua, contribuyendo a la toma de decisiones y a la implementación de medidas correctivas en el sistema estudiado.

El estudio se desarrolla a nivel descriptivo y comparativo, permitiendo caracterizar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua superficial y del sistema de distribución del centro poblado de Maynay, así como analizar las variaciones espaciales y temporales de los parámetros evaluados entre los diferentes puntos de monitoreo y campañas de muestreo. Asimismo, los resultados obtenidos son contrastados con los criterios establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM para aguas superficiales y el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA para agua de consumo humano, con la finalidad de determinar el grado de cumplimiento de los estándares normativos y evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento y distribución.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño metodológico es no experimental y de corte longitudinal, ya que no se manipulan variables de manera intencionada y se realiza un seguimiento de los parámetros del agua en dos campañas de muestreo (enero y febrero). Este enfoque permite obtener información representativa del estado del recurso hídrico en el momento del estudio, identificando variaciones temporales y asegurando la fiabilidad de los resultados para el análisis de la calidad del agua.

3.3. Ámbito temporal y espacial:

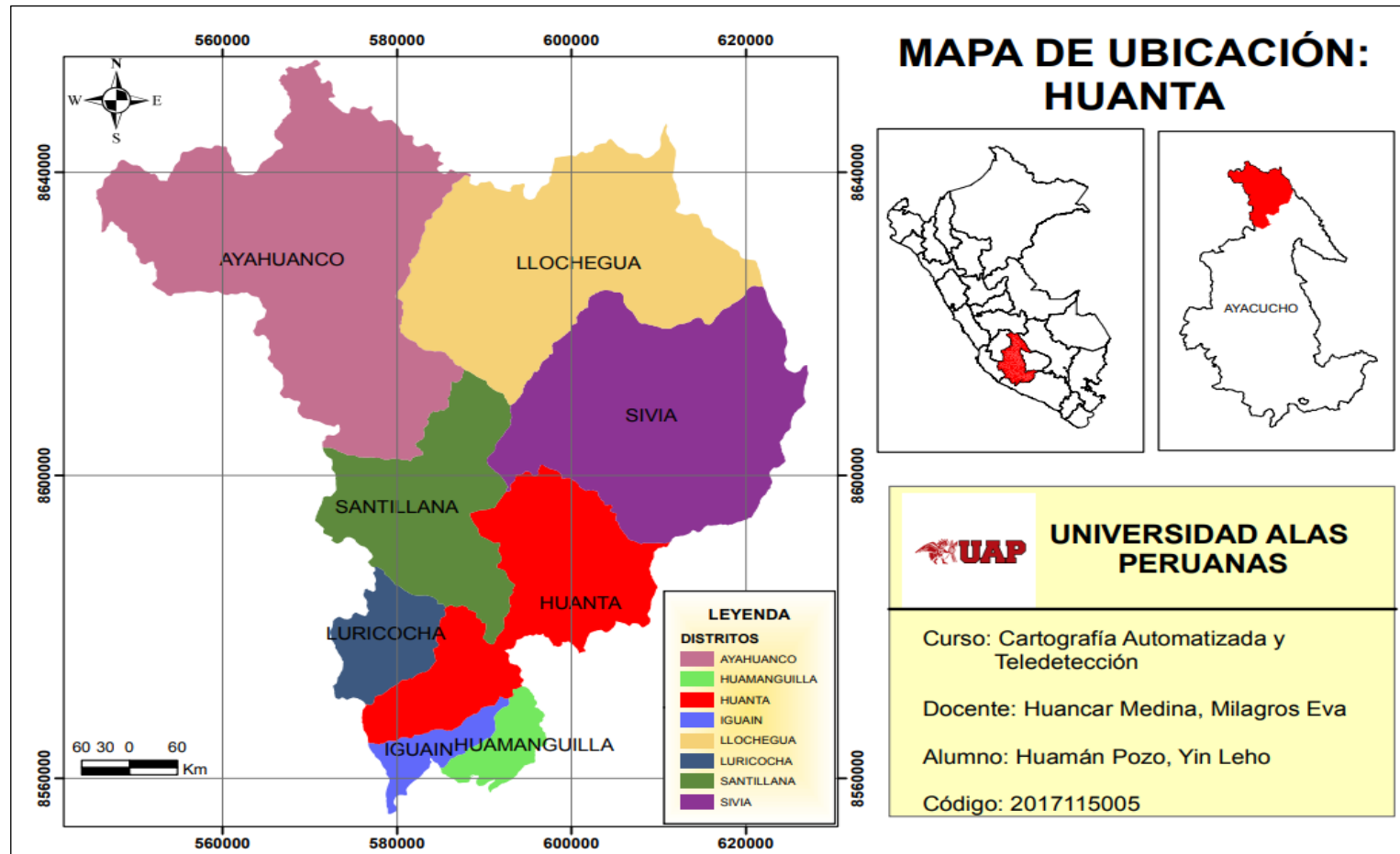
3.3.1. Ámbito Temporal

El estudio se desarrolló durante el periodo de avenidas, ejecutándose dos campañas de monitoreo en los meses de enero y febrero de 2026, etapa caracterizada por un incremento en el arrastre de sedimentos y escorrentía. Esta selección temporal permite evaluar con mayor precisión las variaciones en las características de los parámetros de calidad del agua, así como obtener información representativa del estado del recurso hídrico en condiciones críticas, lo que contribuye a un análisis más completo y confiable de la calidad del agua potable.

3.3.2. Ámbito Espacial

El ámbito espacial comprende el sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado de Maynay, en la provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Este incluye la red de distribución, considerando todo el recorrido del recurso hídrico hasta los puntos de consumo final. De esta manera, se garantiza un análisis integral de la calidad del agua desde la captación hasta la entrega a los usuarios, permitiendo identificar posibles puntos críticos de contaminación y orientar medidas de gestión adecuadas para la seguridad sanitaria del suministro.

Figura 2.
Ámbito espacial del proyecto de estudio



Nota: Huamán (2019)

3.4. Población y muestra

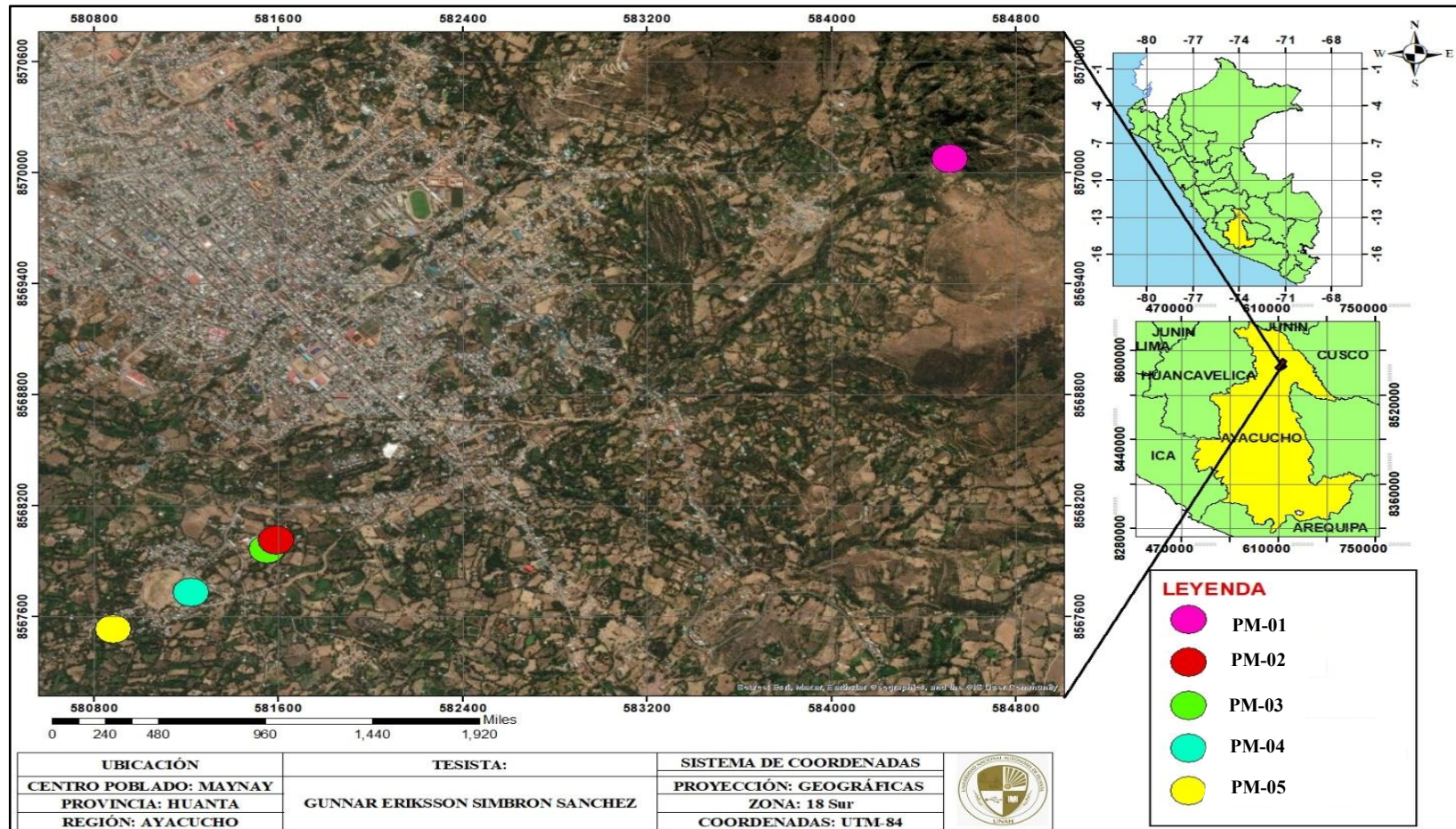
3.4.1. Población

La población de estudio está constituida por el sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado de Maynay, en la provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Este sistema comprende todos los componentes involucrados en la captación, almacenamiento y distribución del agua hasta los usuarios finales, incluyendo la infraestructura de conducción, reservorios y la red de tuberías que abastece a la comunidad.

3.4.2. Muestra

La muestra de la investigación está conformada por cinco puntos estratégicos de monitoreo ubicados a lo largo del sistema de abastecimiento de agua potable: la captación, el reservorio, la primera vivienda, una vivienda intermedia y la última vivienda de la red de distribución. Estos puntos fueron seleccionados de manera representativa con la finalidad de evaluar la variación de la calidad del agua potable desde su ingreso al sistema hasta su consumo final por la población.

Adicionalmente, el punto de captación fue considerado también para la toma de muestras de agua superficial, debido a que el agua captada no recibe tratamiento previo y se encuentra directamente expuesta a la fuente superficial de abastecimiento. Esta condición permite caracterizar la calidad del agua superficial en su estado natural, contribuyendo a una evaluación integral de los riesgos sanitarios y del desempeño del sistema de abastecimiento.

Figura 3.*Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de calidad de agua***Nota:** Elaboración propia

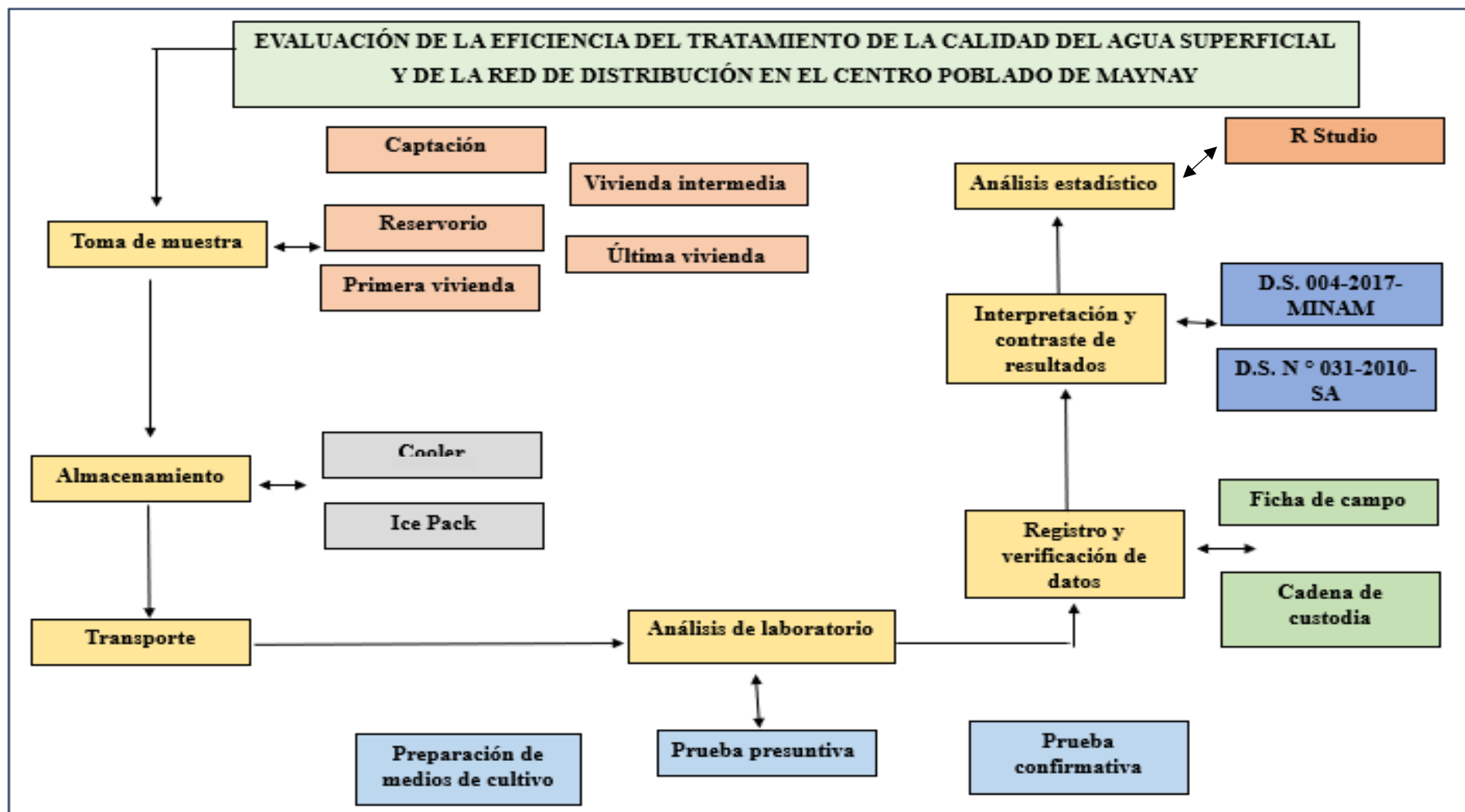
3.5. Instrumentos

Para la recolección de datos se utilizó la cadena de custodia, diseñado para registrar la información correspondiente a los puntos de monitoreo, fecha, hora y valores de los parámetros evaluados. Asimismo, se emplearon equipos portátiles previamente calibrados para la medición in situ de parámetros como pH, cloro residual, turbiedad y color aparente, garantizando la confiabilidad y representatividad de los datos obtenidos durante las campañas de muestreo. Adicionalmente, se utilizaron frascos de vidrio estériles de 600 mL para la recolección de muestras microbiológicas, asimismo se realizó siguiendo los protocolos normativos vigentes, tales como la Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA, el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA y el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, los cuales sirvieron como instrumentos de referencia para la evaluación y contraste de los resultados obtenidos.

3.6. Procedimientos

El procedimiento de la presente investigación se estructuró en seis etapas principales: toma de muestras, almacenamiento, transporte, análisis en laboratorio, registro y verificación de datos, e interpretación y contraste normativo. Esta secuencia metodológica permitió desarrollar de manera ordenada el estudio, garantizando el cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos planteados. Asimismo, en la Figura 4 se presenta el flujo de actividades correspondiente al desarrollo del proyecto.

Figura 4.
Flujograma de actividades metodológicas



Nota: Elaboración propia

3.7. Toma de muestra

La recolección de muestras de agua potable se realizó conforme a lo establecido en la Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA, denominada “Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano”, así como a los lineamientos establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, que aprueba el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos in situ se utilizaron equipos portátiles previamente calibrados. El pH fue determinado mediante un equipo multiparamétrico con sensores de la marca HANNA. En el punto de captación, la medición se realizó directamente; mientras que, en el reservorio de almacenamiento y en las viviendas, el agua fue recolectada en un balde limpio para efectuar la medición correspondiente. Por otro lado, el cloro residual se determinó utilizando el equipo Checker Free Chlorine (HANNA), a partir de una muestra colocada en un tubo de ensayo. Asimismo, la turbidez se midió mediante un turbidímetro portátil de marca HANNA, utilizando muestras tomadas en tubos de ensayo. De igual manera, el color aparente fue evaluado mediante un colorímetro portátil a partir de muestras recolectadas en tubos de ensayo. Todas estas mediciones se realizaron directamente en el punto de muestreo con el fin de minimizar posibles alteraciones en los parámetros analizados.

Para la toma de muestras en cañerías de la red de distribución, se dejó correr el agua durante un período aproximado de dos minutos, con el objetivo de obtener una muestra representativa del sistema. Previamente al muestreo, se procedió a la desinfección de la cañería, siguiendo las recomendaciones del protocolo vigente, a fin de evitar contaminaciones externas que puedan alterar los resultados.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, las muestras fueron recolectadas en frascos de vidrio de 600 mL, debidamente esterilizados y rotulados, y posteriormente transportadas en condiciones adecuadas al Laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta para su análisis. Para estos análisis se emplearon frascos estériles específicos para microbiología, garantizando la integridad de la muestra. Los parámetros evaluados incluyeron coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, conforme a los métodos establecidos para el análisis de agua destinada al consumo humano.

Asimismo, para el análisis de agua superficial, se tomó como referencia el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que establece los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. El agua de la captación fue considerada como agua superficial, debido a que se encuentra ubicada en el borde de la fuente de abastecimiento, por lo que su evaluación se realizó bajo los criterios correspondientes a este tipo de cuerpo de agua.

3.8. Almacenamiento

Las muestras correspondientes a los parámetros microbiológicos, específicamente coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, fueron almacenadas en frascos de vidrio de 600 mL, previamente esterilizados y correctamente rotulados. El rotulado incluyó información relevante como el punto de muestreo, la fecha y la hora de recolección, garantizando la adecuada identificación de cada muestra.

Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en coolers térmicos, utilizando ice packs para mantener condiciones adecuadas de temperatura, conforme a los tiempos máximos de conservación establecidos en los protocolos vigentes. Este procedimiento permitió preservar la calidad e integridad de las muestras, evitando alteraciones microbiológicas hasta su ingreso al laboratorio para el análisis correspondiente.

3.9. Transporte

El transporte de las muestras se realizó manteniéndolas a una temperatura adecuada, con la finalidad de preservar sus características microbiológicas. Durante este proceso, se evitó la exposición directa a la luz solar y la ocurrencia de movimientos bruscos, reduciendo el riesgo de alteración o contaminación de las muestras.

Las muestras fueron trasladadas en coolers térmicos, empleando ice packs para asegurar la estabilidad térmica durante todo el trayecto. Asimismo, se implementó una cadena de custodia, la cual permitió la correcta identificación de los puntos de monitoreo, el registro de fechas y horas de recolección, y la verificación del estado de cada muestra. Este procedimiento garantizó la integridad y confiabilidad de las muestras desde el punto de muestreo hasta el laboratorio, donde se efectuaron los análisis correspondientes.

3.10. Análisis en laboratorio

3.10.1. Preparación previa al trabajo de campo

Un día antes de la realización del trabajo de campo y la recolección de muestras, se procedió a la preparación de los medios de cultivo necesarios, así como al acondicionamiento del material de laboratorio. Para ello, se prepararon el caldo Lauril Sulfato y el agua peptonada, y se alistaron un total de 60 tubos de ensayo con campanas de Durham y tapones de algodón.

Asimismo, se prepararon cinco pipetas de 1 mL y cinco pipetas de 10 mL, las cuales fueron envueltas en papel kraft para su posterior esterilización, asegurando condiciones adecuadas de asepsia durante el análisis microbiológico.

3.10.2. Preparación de medios de cultivo

Preparación del caldo Lauril Sulfato

Para la preparación del caldo Lauril Sulfato se emplearon 35,6 g de medio deshidratado por cada 1 000 mL de agua destilada. En este caso, se prepararon aproximadamente 600 mL de medio, para lo cual se pesaron 21,36 g del medio deshidratado.

Una vez preparado el caldo, este fue distribuido en los tubos de ensayo previamente acondicionados, adicionando 9 mL de caldo Lauril Sulfato en cada tubo.

Preparación del agua peptonada

El agua peptonada se preparó utilizando 2 g de peptona por cada 100 mL de agua destilada. Para la preparación de aproximadamente 500 mL de medio, se utilizaron 10 g de peptona.

Posteriormente, el agua peptonada fue distribuida en cinco frascos de vidrio con tapa rosca, colocando 90 mL en cada frasco.

Esterilización

Todo el material preparado (medios de cultivo, tubos de ensayo, frascos y pipetas) fue esterilizado en autoclave a una temperatura de 121 °C durante 20 minutos, garantizando condiciones adecuadas de esterilidad para el análisis microbiológico.

Trabajo de campo y siembra para la prueba presuntiva

Una vez recolectadas las muestras de agua en frascos estériles, estas fueron trasladadas al laboratorio para la realización de la prueba presuntiva.

Figura 5.

Muestras de agua en el laboratorio



Nota: Elaboración propia

El procedimiento de siembra fue el mismo para todos los puntos de muestreo: captación, reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Del frasco que contenía la muestra de agua, se extrajeron 10 mL utilizando una pipeta de 10 mL y un pipeteador, los cuales fueron transferidos a un frasco con tapa rosca que contenía 90 mL de agua peptonada, obteniéndose la dilución 10^{-1} . La muestra fue homogenizada adecuadamente.
- Posteriormente, se extrajo 1 mL de la dilución 10^{-1} utilizando una pipeta de 1 mL estéril, y se transfirió a un tubo de ensayo con caldo Lauril Sulfato, correspondiente a la dilución 10^{-2} , homogenizándose nuevamente.
- A continuación, se repitió el procedimiento, esterilizando la pipeta de 1 mL en el mechero, extrayendo 1 mL de la dilución 10^{-2} y transfiriéndolo a un nuevo tubo con caldo Lauril Sulfato, correspondiente a la dilución 10^{-3} , seguido de homogenización.

Figura 6.*Procedimiento en el laboratorio***Nota:** Elaboración propia

- Para cada dilución (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}) se inocularon tres tubos con caldo Lauril Sulfato, obteniéndose un total de nueve tubos de ensayo por cada punto de muestreo.
- Este procedimiento se repitió de igual manera para los cinco puntos evaluados, utilizando pipetas exclusivas de 10 mL y 1 mL para cada punto. En total, se obtuvieron 45 tubos de ensayo sembrados, los cuales fueron colocados en gradillas e incubados a 35 °C durante un período de 24 a 48 horas.

Figura 7.*Tubos de ensayo con caldo Lauril Sulfato dispuestos en gradillas para incubación.***Nota:** Elaboración propia

Resultados de la prueba presuntiva

Transcurridas aproximadamente 48 horas de incubación, se obtuvieron resultados presuntivos positivos únicamente en la muestra correspondiente a la captación, mientras que los demás puntos de muestreo presentaron resultados negativos.

El resultado presuntivo para la captación fue de 2–1–0, lo que indica:

- Dilución 10^{-1} : 2 tubos positivos de 3
- Dilución 10^{-2} : 1 tubo positivo de 3
- Dilución 10^{-3} : 0 tubos positivos de 3

Figura 8.

Resultado presuntivo



Nota: Elaboración propia

Prueba confirmativa

Para la prueba confirmativa se utilizaron el caldo Bilis Verde Brillante para la confirmación de coliformes totales y el caldo E. coli para la confirmación de coliformes termotolerantes. Estos medios fueron preparados previamente por el personal especializado del laboratorio.

Figura 9.

Caldo E. Coli y Caldo Verde Brillante



Nota: Elaboración propia

La prueba confirmativa se realizó únicamente para las muestras con resultado presuntivo positivo (captación). Dado el resultado 2–1–0, se identificaron tres tubos positivos, los cuales fueron transferidos a los medios confirmativos.

- Se transfirieron alícuotas de los tubos positivos a tubos con caldo Bilis Verde Brillante, los cuales fueron incubados a 35 °C durante 24 a 48 horas.

Figura 10.

Incubación de tubos de ensayo en la prueba confirmativa.



Nota: Elaboración propia

- De manera similar, se transfirieron alícuotas de los tubos positivos a tubos con caldo E. coli, los cuales fueron incubados en baño maría a 44,5 °C durante 24 a 48 horas.

Figura 11.

Baño maría para la incubación de tubos confirmativos.



Nota: Elaboración propia

Resultados confirmativos

Se obtuvo resultado positivo para coliformes totales en el caldo Bilis Verde Brillante, evidenciado por la presencia de gas en las campanas de Durham.

Asimismo, se obtuvo resultado positivo para coliformes termotolerantes en el caldo E. coli, evidenciado por la turbidez del medio y la acumulación de gas, indicativos de contaminación fecal, con alta probabilidad de presencia de *Escherichia coli*.

Figura 12.

Resultado positivo en medios confirmativos.



Nota: Elaboración propia

Registro y verificación de datos

Los resultados obtenidos durante el monitoreo de la calidad del agua, desde el agua superficial hasta los puntos de la red de distribución, fueron registrados de manera sistemática y ordenada, siguiendo los lineamientos establecidos en los protocolos vigentes. El registro incluyó tanto los datos obtenidos en campo como los resultados de laboratorio, asegurando la consistencia y coherencia de la información.

Todos los datos fueron consolidados mediante los formatos de cadena de custodia y fichas de campo, los cuales permitieron corroborar la correcta identificación de las muestras.

Interpretación y contraste normativo

Los valores obtenidos de los parámetros fueron comparados y contrastados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA para agua destinada al consumo humano, así como con los criterios del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que establece los Estándares de Calidad Ambiental para agua superficial. Este proceso permitió verificar el grado de cumplimiento de la normativa vigente aplicable a cada tipo de agua evaluada.

Asimismo, el análisis normativo facilitó la evaluación del estado de la calidad del agua en cada punto del sistema de abastecimiento, desde la fuente hasta la red de distribución, permitiendo identificar posibles incumplimientos, desviaciones o riesgos sanitarios y ambientales. La interpretación de estos resultados constituyó una base técnica para la propuesta de acciones correctivas, medidas de gestión ambiental y estrategias de control sanitario, orientadas a garantizar la seguridad y calidad del agua destinada al consumo humano.

3.11. Análisis de datos

Los datos obtenidos durante las campañas de monitoreo fueron organizados en tablas de resumen para facilitar su interpretación y comparación entre los diferentes puntos del sistema de abastecimiento. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico descriptivo, orientado a describir el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, mediante su comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 1 – Subcategoría A2, aplicables a la fuente de captación, y con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para agua destinada al consumo humano en el sistema de abastecimiento.

Las gráficas de líneas fueron elaboradas en el programa RStudio, con la finalidad de representar las variaciones, la distribución y la variabilidad de los parámetros evaluados entre los puntos de monitoreo y las campañas de enero y febrero. Estas representaciones permitieron identificar tendencias, diferencias y posibles incumplimientos de los valores establecidos por la normativa vigente. Asimismo, el análisis espacial se desarrolló en el programa ArcGIS, mediante la elaboración de mapas temáticos del sistema de abastecimiento de agua potable, en los cuales se representó el cumplimiento e incumplimiento de los parámetros evaluados en cada punto de monitoreo. Esta representación cartográfica permitió identificar la distribución espacial de la calidad del agua y reconocer los sectores con mayor incidencia de incumplimiento durante las campañas de evaluación.

Por último, el tratamiento estadístico aplicado fue de carácter descriptivo. Por tanto, no se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, sean paramétricas o no paramétricas, ni pruebas de contraste de hipótesis. El análisis se centró en la descripción y comparación de los resultados obtenidos entre los puntos de monitoreo y las campañas de evaluación, así como en su interpretación respecto a los criterios establecidos por los ECA y los LMP.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resumen de los parámetros de calidad de agua en los puntos de monitoreo

Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo realizadas durante los meses de enero y febrero (época de avenida) se presentan de manera consolidada en las Tablas 2 y 3. En ellas se muestran los valores registrados para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en la fuente de captación, el reservorio y los puntos de consumo del sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado de Maynay.

La organización de los resultados en tablas permitió visualizar de manera integrada el comportamiento de los parámetros evaluados durante ambas campañas, facilitando su comparación entre los diferentes puntos de monitoreo y con los criterios establecidos en la normativa nacional. Para la fuente de captación se consideraron los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 1 – Subcategoría A2, mientras que para el agua distribuida se emplearon los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua destinada al consumo humano.

Asimismo, con el propósito de facilitar la identificación de los parámetros que no cumplen con los valores establecidos por la normativa vigente, en las tablas se resaltan en color rojo aquellos resultados que exceden los límites permitidos. Esta presentación constituye una síntesis de la información obtenida y sirve como base para el análisis de las tendencias, la variabilidad y la distribución espacial desarrollados en los apartados siguientes.

Tabla 2

Resultados de los parámetros de calidad de agua en los puntos de monitoreo - campaña enero (época de avenida).

	Parámetro	Captación	Reservorio	Primera vivienda	Vivienda intermedia	Última vivienda	ECA (Cat 1- Sub A2) (Captación)	LMP
Fisicoquímicos	pH	8.61	8.75	8.95	7.68	7.56	5.5 – 9.0	6.5 – 8.5
	Turbidez (NTU)	15.0	7.38	7.25	7.52	6.85	100	5
	Color (UC)	35	25	5	35	20	100	15
	Cloro residual (mg/L)	-	1.03	0.47	0.47	0.26	-	0.5 - 5
Microbiológico	Coliformes totales	43	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	-	< 1.8
	Coliformes termotolerantes	23	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2000	< 1.8
	E. coli	23	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2000	< 1.8

Nota: Elaboración propia

Tabla 3

Resultados de los parámetros de calidad de agua en los puntos de monitoreo - campaña febrero (época de avenida).

	Parámetro	Captación	Reservorio	Primera vivienda	Vivienda intermedia	Última vivienda	ECA (Cat 1- Sub A2) (Captación)	LMP
Fisicoquímicos	pH	7.66	7.97	9.77	8.55	8.09	5.5 – 9.0	6.5 – 8.5
	Turbidez (NTU)	1.12	3.30	1.84	2.92	6.96	100	5
	Color (UC)	50	45	20	5	25	100	15
	Cloro residual (mg/L)	-	2.50	0.13	0.17	0.12	-	0.5 - 5
Microbiológico	Coliformes totales	240	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	-	< 1.8
	Coliformes termotolerantes	93	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2000	< 1.8
	E. coli	43	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2000	< 1.8

Nota: Elaboración propia

Las Tablas 2 y 3 evidencian que la calidad del agua presenta diferencias entre la fuente de captación y los puntos del sistema de abastecimiento, reflejando el efecto del tratamiento aplicado antes de su distribución a la población. En términos generales, los resultados muestran que los parámetros evaluados no presentan un comportamiento homogéneo a lo largo del sistema, observándose condiciones de cumplimiento e incumplimiento de acuerdo con el parámetro analizado y el punto de monitoreo.

De manera general, los parámetros fisicoquímicos concentran la mayor cantidad de incumplimientos respecto a los Límites Máximos Permisibles, principalmente en la red de distribución, mientras que los parámetros microbiológicos muestran una condición diferente, al registrarse presencia de contaminación únicamente en la fuente de captación y cumplimiento en los puntos posteriores al tratamiento.

En conjunto, los resultados permiten identificar que el sistema de abastecimiento presenta un comportamiento diferenciado según el tipo de parámetro evaluado, evidenciando que algunos indicadores mejoran a lo largo del proceso de tratamiento, mientras que otros requieren un análisis específico para determinar las posibles causas de los incumplimientos observados.

4.1.2. Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de abastecimiento

Se determinaron, mediante gráficos de líneas, las variaciones de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos a lo largo del sistema de potabilización, con la finalidad de evaluar la eficiencia del tratamiento en la calidad del agua potable. En las siguientes gráficas se presentan las variaciones de cada parámetro en los diferentes puntos de monitoreo, así como su comparación con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.

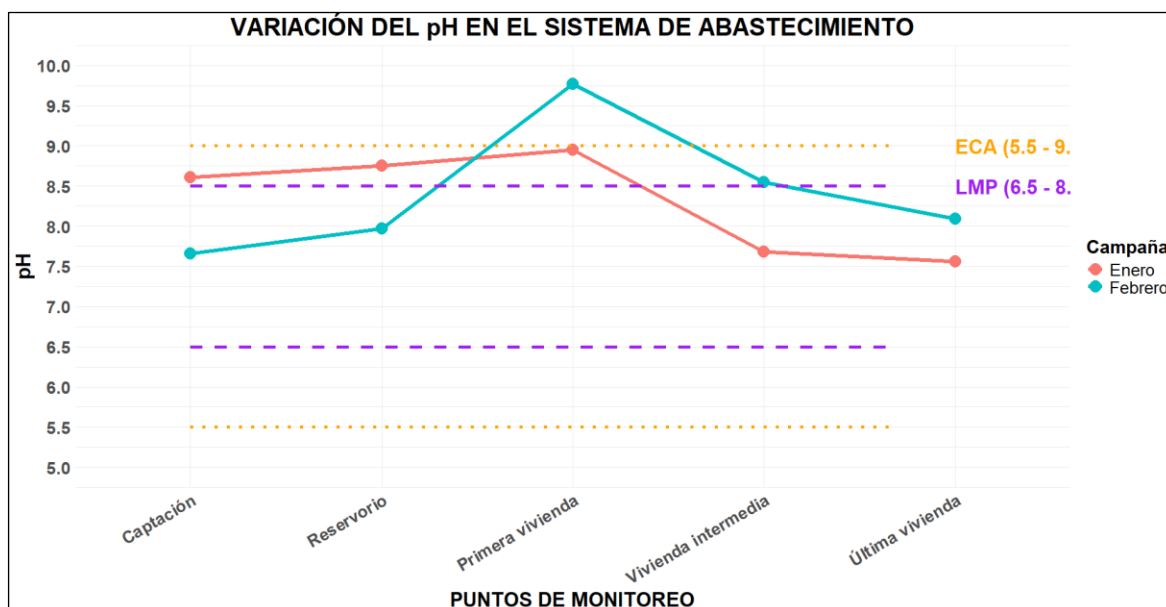
Asimismo, para el punto de captación, se consideró de manera referencial la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, debido a que corresponde a una fuente de agua superficial.

4.1.2.1. Parámetros Fisicoquímicos

Potencial de hidrógeno (pH)

Figura 13.

Variación del pH en el sistema de abastecimiento de agua potable



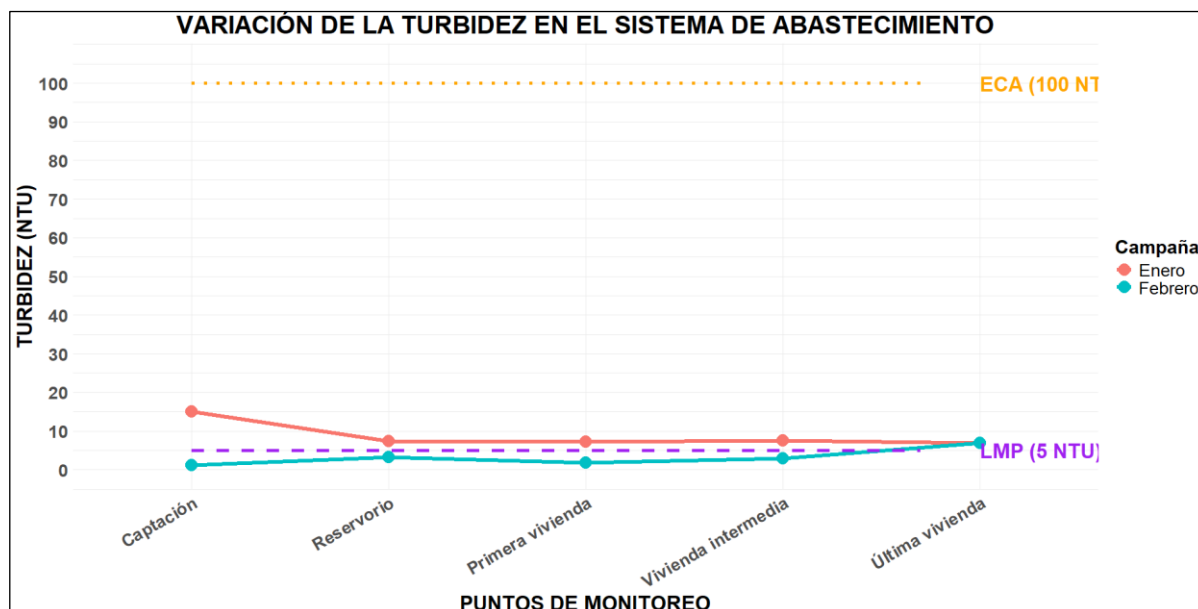
Nota: Elaboración propia

El análisis espacial y temporal del pH evidenció un comportamiento diferenciado a lo largo del sistema de abastecimiento. Mientras que el agua cruda en la captación se mantuvo dentro de las exigencias del ECA-Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM) con valores de 8.61 (enero) y 7.66 (febrero), se identificó un incremento crítico de la alcalinidad en la red de distribución. Específicamente, en febrero, el pH alcanzó un valor de 9.77 en la primera vivienda, sobrepasando el LMP permitido por el D.S. N.º 031-2010-SA (6.5–8.5). Esta tendencia alcalina inicial tiende a estabilizarse por neutralización natural conforme se avanza hacia los tramos finales de la red (vivienda intermedia y final), como se corrobora en la cartografía temática (Figuras 13 y 20).

Turbidez

Figura 14.

Variación de turbidez en el sistema de abastecimiento de agua potable



Nota: Elaboración propia

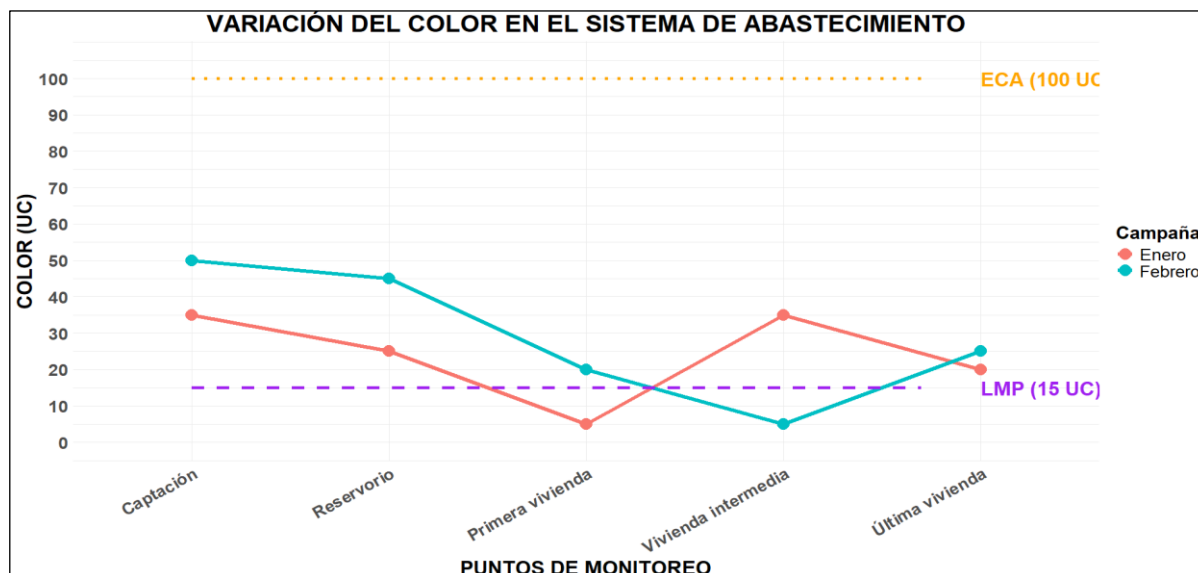
En la Figura 14, correspondiente al parámetro turbidez, se observa que el punto de captación registró valores de 15.0 NTU durante la campaña de enero y 1.12 NTU en febrero, evidenciándose una disminución significativa entre ambas campañas de monitoreo, el cual evidencia el cumplimiento con los ECA-Agua (100 NTU). Este resultado representa la disminución de concentraciones entre campañas.

Por otro lado, al comparar los valores de turbidez en todos los puntos del sistema de abastecimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua potable (5 NTU), se identifican excedencias principalmente en la campaña de enero, donde todos los puntos evaluados (reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda) superan el límite permisible, lo que evidencia deficiencias en el proceso de tratamiento y una calidad inadecuada del agua para consumo humano. En la campaña de febrero, se observa una mejora significativa en la calidad del agua, donde la mayoría de los puntos cumple con el LMP el cual es concordante porque la captación contiene concentraciones menores, a medida que llegó a la última vivienda (6.96 NTU) superó las concentraciones establecidas en la normativa las cuales puede ser debido al ingreso de partículas suspendidas. Estos resultados se examinan de mejor manera en la figuras 14 y 21.

Color

Figura 15.

Variación del color en el sistema de abastecimiento de agua potable



Nota: Elaboración propia

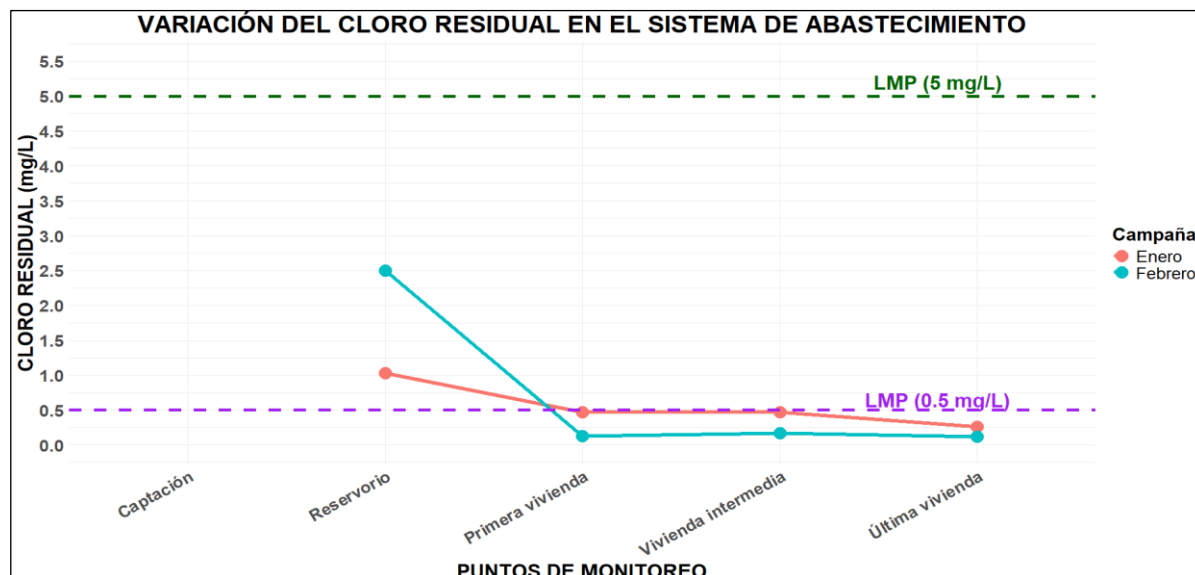
En la figura 15 correspondiente al color, se observa que los valores registrados en la captación durante las campañas de enero (35 UC) y febrero (50 UC) se encuentran dentro del rango establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (100 UC). Esto indica que la fuente de agua superficial no presenta niveles elevados de sustancias coloreadas de origen natural o antrópico, cumpliendo con los criterios ambientales establecidos en ambas campañas y evidenciando condiciones aceptables en el punto de captación.

Por otro lado, al comparar los valores de color en todos los puntos del sistema de abastecimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua potable (15 UC), se identifican múltiples excedencias en ambas campañas. En enero, el reservorio (25 UC), la vivienda intermedia (35 UC) y la última vivienda (20 UC) superan el límite permisible, mientras que solo la primera vivienda (5 UC) cumple con la normativa. En febrero, la situación continúa siendo desfavorable, ya que el reservorio (45 UC), la primera vivienda (20 UC) y la última vivienda (25 UC) exceden el LMP, cumpliendo únicamente la vivienda intermedia (5 UC). Como se observa en ambas campañas las concentraciones de color se redujeron en la etapa intermedia del proceso de tratamiento lo cual representa a factores influenciados a la red de distribución, estos procesos de aumento y disminución se puede visualizar de manera gráfica y espacial en la figura 15 y 22.

Cloro residual

Figura 16.

Variación del cloro residual en el sistema de abastecimiento de agua potable



Nota: Elaboración propia

Las concentraciones de cloro en la captación no fueron medidas, debido a que este parámetro no se encuentra estipulado en el D.S.004-2017-MINAM, motivo por el cual no se realizó la comparación con la normativa.

En la gráfica 16 de variación del cloro residual se observa que, durante ambas campañas, los valores más altos se registraron en el reservorio, alcanzando 1.03 mg/L en enero y 2.50 mg/L en febrero, lo que indica una adecuada dosificación inicial del desinfectante en el sistema. No obstante, a partir de este punto se evidencia una disminución progresiva del cloro residual conforme el agua avanza hacia las viviendas. En la campaña de enero, los valores en la red de distribución (0.47 mg/L en la primera y vivienda intermedia, y 0.26 mg/L en la última vivienda) se encuentran en el límite inferior o por debajo del valor mínimo permisible (0.5 mg/L), mientras que en febrero esta reducción es más pronunciada, registrándose concentraciones considerablemente bajas (0.12–0.17 mg/L).

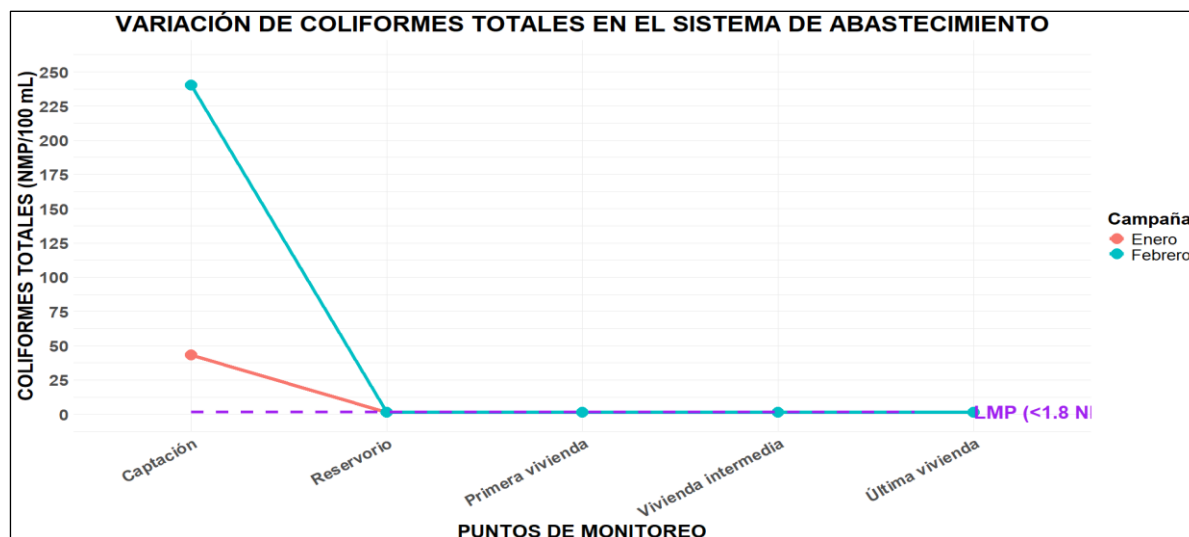
De la comparación entre ambas campañas se visualiza mediante el gráfico de líneas (figura 16) y gráfico espacial (figura 23), los valores más pronunciados se dieron en enero y existe una pérdida del cloro residual a medida del avance a través de la red de distribución entre la primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda, lo que representa y podría repercutir en posibles infecciones por patógenos microbiológicos a la población.

4.1.2.2. Parámetros Microbiológicos

Coliformes totales

Figura 17.

Variación de Coliformes totales en el sistema de abastecimiento de agua potable.



Nota: Elaboración propia

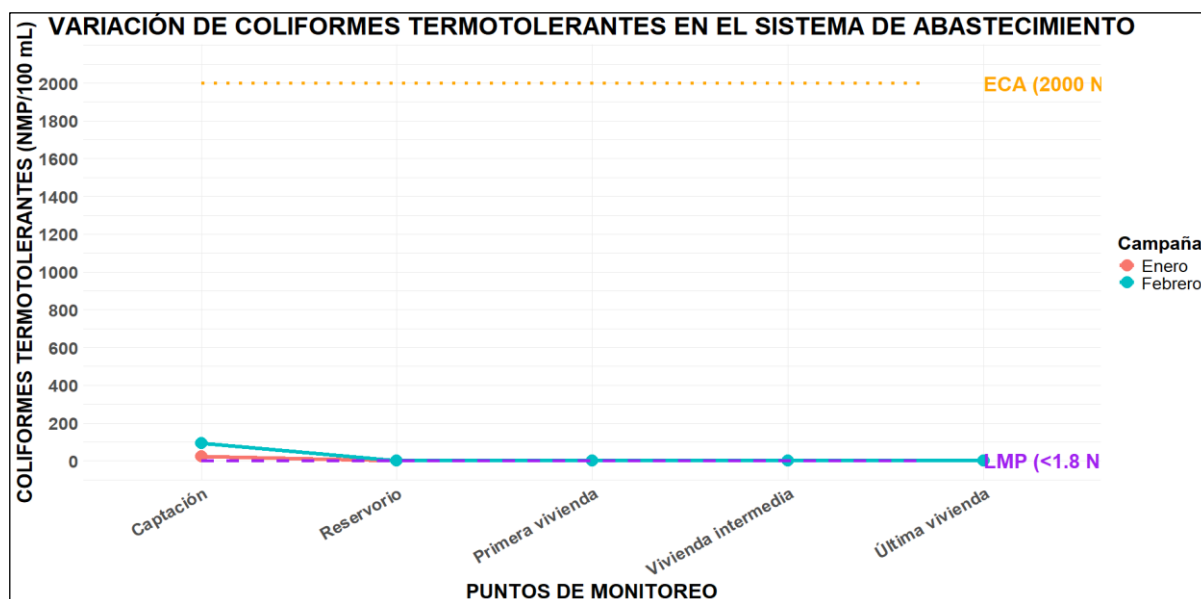
En la figura 17 correspondiente a los coliformes totales, se observa que en el punto de captación los valores registrados durante las campañas de enero (43 NMP/100 mL) y febrero (240 NMP/100 mL) evidencian la presencia de contaminación microbiológica en la fuente de agua superficial. No obstante, este parámetro no es comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), debido a que no aplica para el ECA (Categoría 1 – Subcategoría A2: agua para producción de agua potable). A pesar de ello, los resultados reflejan que el agua en su estado natural requiere tratamiento para ser apta para consumo humano, siendo mayor la carga contaminante en la campaña de febrero.

Por otro lado, al comparar los valores de coliformes totales en todos los puntos del sistema de abastecimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua potable (< 1.8 NMP/100 mL), se observa los puntos de reservorio y de las viviendas los valores se encuentran en concentraciones bajas (< 1.1 NMP/100 mL), cumpliendo con la normativa. Esto evidencia que el sistema de tratamiento logra una reducción significativa de la carga microbiológica, este diagnóstico se puede representar específicamente mediante la figura 17 y 24.

Coliformes termotolerantes

Figura 18.

Variación de Coliformes termotolerantes en el sistema de abastecimiento de agua potable.



Nota: Elaboración propia

En la Figura 18, correspondiente al parámetro coliformes termotolerantes, se observa que en el punto de captación los valores registrados durante las campañas de enero (23 NMP/100 mL) y febrero (93 NMP/100 mL) evidencian la presencia de contaminación fecal en la fuente de agua superficial. No obstante, estos valores se encuentran dentro del límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (2000 NMP/100 mL) correspondiente a la Categoría 1 – Subcategoría A2 (agua para producción de agua potable), lo que indica que, si bien existe contaminación microbiológica en la fuente, esta se mantiene dentro de los rangos permisibles para su uso como agua destinada a potabilización previa aplicación de tratamiento. En ese sentido, la fuente hídrica cumple con la normativa ambiental aplicable para este parámetro; sin embargo, la detección de coliformes termotolerantes confirma la influencia de materia fecal de origen humano o animal, lo cual representa un riesgo sanitario potencial si no se realiza un tratamiento adecuado. Asimismo, se observa un incremento de la carga microbiológica en la campaña de febrero respecto a enero, lo que podría estar relacionado con variaciones en las condiciones sanitarias de la cuenca, escorrentía superficial, presencia de actividades antrópicas cercanas o arrastre de contaminantes hacia la fuente de captación.

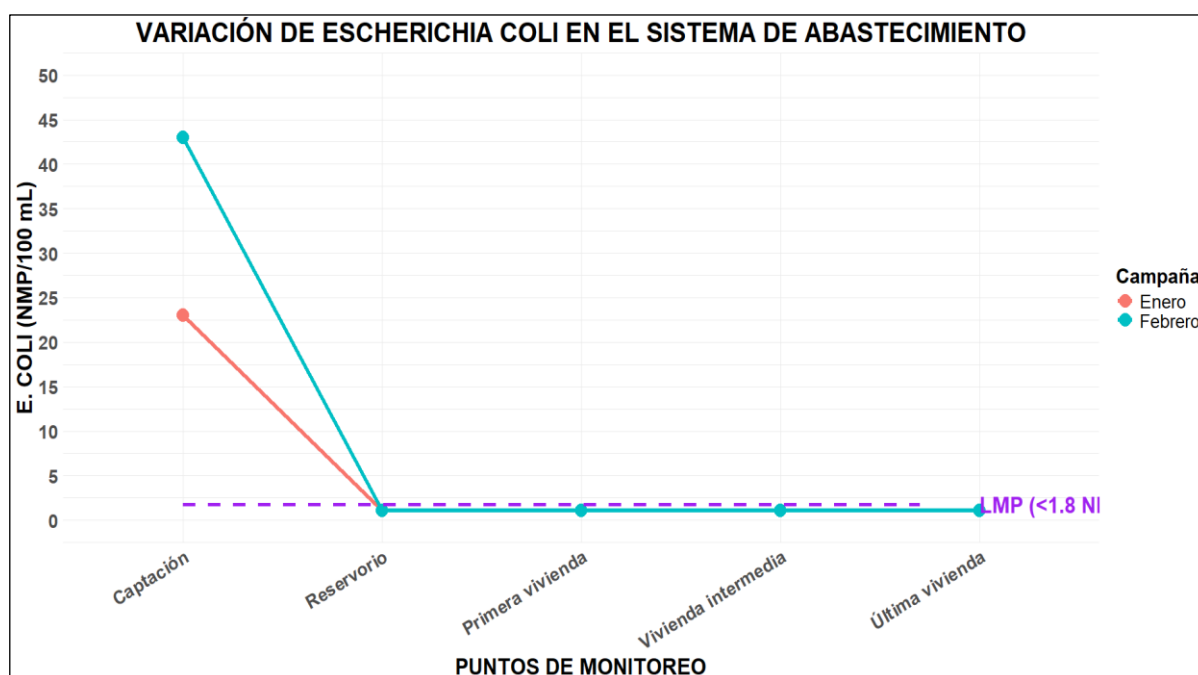
Por otro lado, al comparar los valores de coliformes termotolerantes en todos los puntos del sistema de abastecimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua potable, se evidencia que los puntos evaluados (reservorio y viviendas) se encuentran por debajo del

límite de detección (< 1.8 NMP/100 mL), cumpliendo con la normativa establecida para agua destinada al consumo humano. Estos resultados se pueden visualizar mediante la figura 18 y 25. Los cuales evidencian que el sistema de tratamiento y desinfección logra una reducción significativa y efectiva de la contaminación fecal presente en la fuente, permitiendo que el agua distribuida alcance condiciones microbiológicas aceptables en los puntos monitoreados.

Escherichia coli

Figura 19.

Variación de Escherichia coli en el sistema de abastecimiento de agua potable.



Nota: Elaboración propia

En la figura 19 correspondiente a *Escherichia coli*, se observa que en el punto de captación los valores registrados durante las campañas de enero (23 NMP/100 mL) y febrero (43 NMP/100 mL) evidencian la presencia de contaminación fecal en la fuente de agua superficial. Este parámetro no es comparado con el ECA (Categoría 1 – Subcategoría A2: agua para producción de agua potable). No obstante, los resultados reflejan que el agua en su estado natural presenta contaminación microbiológica de origen fecal, siendo más elevada en la campaña de febrero.

Por otro lado, al comparar los valores de *E. coli* en todos los puntos del sistema de abastecimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua potable (< 1.8 NMP/100 mL), se interpreta que los puntos de reservorio y de las viviendas se encuentran por debajo del límite de detección (< 1.1 NMP/100 mL), cumpliendo con la normativa. Este resultado evidencia que

el sistema de tratamiento logra una eliminación efectiva de *E. coli* como se observa en la figura 19 y 26; sin embargo, la presencia inicial en la fuente y su incremento en la campaña de febrero resaltan la importancia de mantener un adecuado proceso de desinfección y control en el sistema para garantizar la inocuidad del agua destinada al consumo humano.

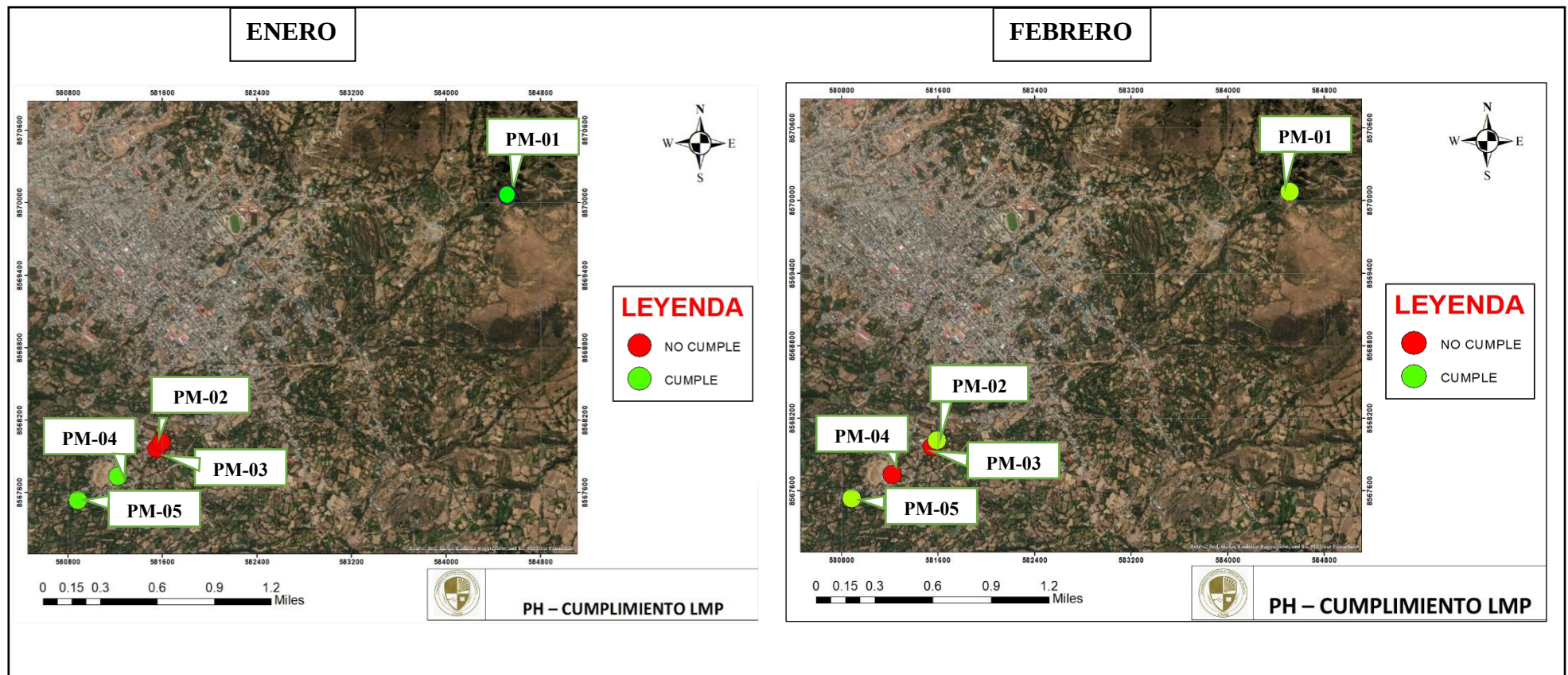
4.1.3. Análisis espacial del cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles

Con la finalidad de complementar el análisis de la calidad del agua, se elaboraron mapas temáticos para cada uno de los parámetros evaluados durante las campañas de enero y febrero. La representación espacial permite identificar la localización de los puntos que cumplen o incumplen los Límites Máximos Permisibles (LMP), facilitando el reconocimiento de patrones espaciales dentro del sistema de abastecimiento.

A diferencia del análisis de tendencias desarrollado en el apartado anterior, los mapas permiten visualizar la distribución geográfica de los incumplimientos, identificar los sectores críticos del sistema y reconocer los puntos donde persisten las mayores deficiencias en la calidad del agua. Esta información constituye un apoyo para comprender el comportamiento espacial del sistema de tratamiento y distribución durante las campañas de monitoreo.

Figura 20.

Comparación espacial del pH en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



Nota: Elaboración propia

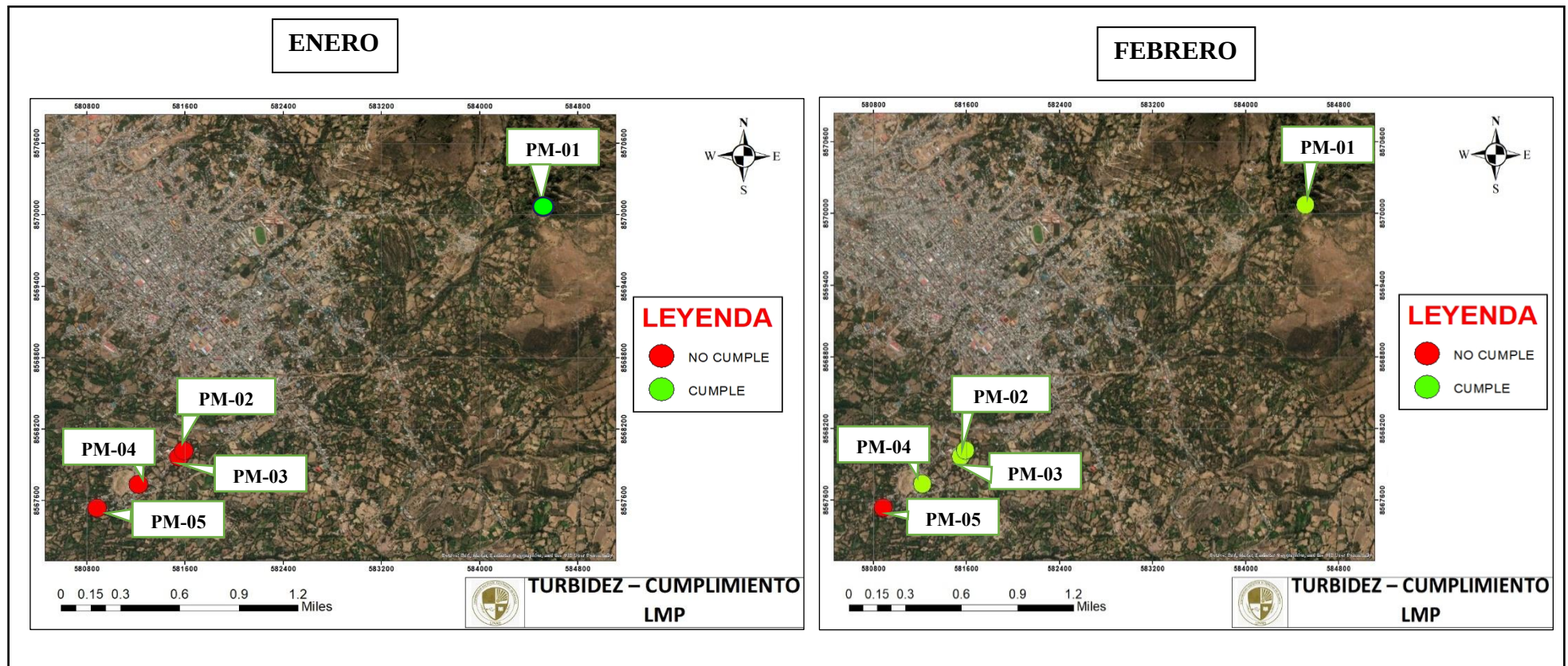
La distribución espacial del pH evidencia que las condiciones de cumplimiento no se mantienen homogéneas en todo el sistema de abastecimiento, sino que presentan una localización diferenciada entre las campañas de monitoreo. Durante enero, los puntos con incumplimiento se concentran en el tramo inicial del sistema, mientras que los puntos ubicados aguas abajo presentan condiciones favorables. Esta configuración espacial sugiere que, conforme el agua avanza por la red de distribución, las condiciones del pH tienden a estabilizarse, permitiendo que los puntos finales cumplan con los valores establecidos por la normativa.

En contraste, durante febrero el patrón espacial muestra un desplazamiento de las zonas de incumplimiento hacia el sector intermedio del sistema, manteniéndose la captación y la última vivienda dentro de los valores permitidos. Este cambio en la distribución espacial indica que las alteraciones del pH no se presentan de manera permanente en un mismo punto, sino que responden a condiciones operativas propias del sistema de abastecimiento durante cada campaña de monitoreo.

Desde una perspectiva espacial, los resultados permiten identificar que el pH no constituye una limitación generalizada en toda la red de distribución, sino un comportamiento localizado en determinados sectores. La identificación de estos puntos facilita priorizar las acciones de supervisión y control operativo en las zonas donde el parámetro presenta incumplimientos, optimizando el seguimiento de la calidad del agua dentro del sistema de abastecimiento.

Figura 21.

Comparación espacial de la Turbidez en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



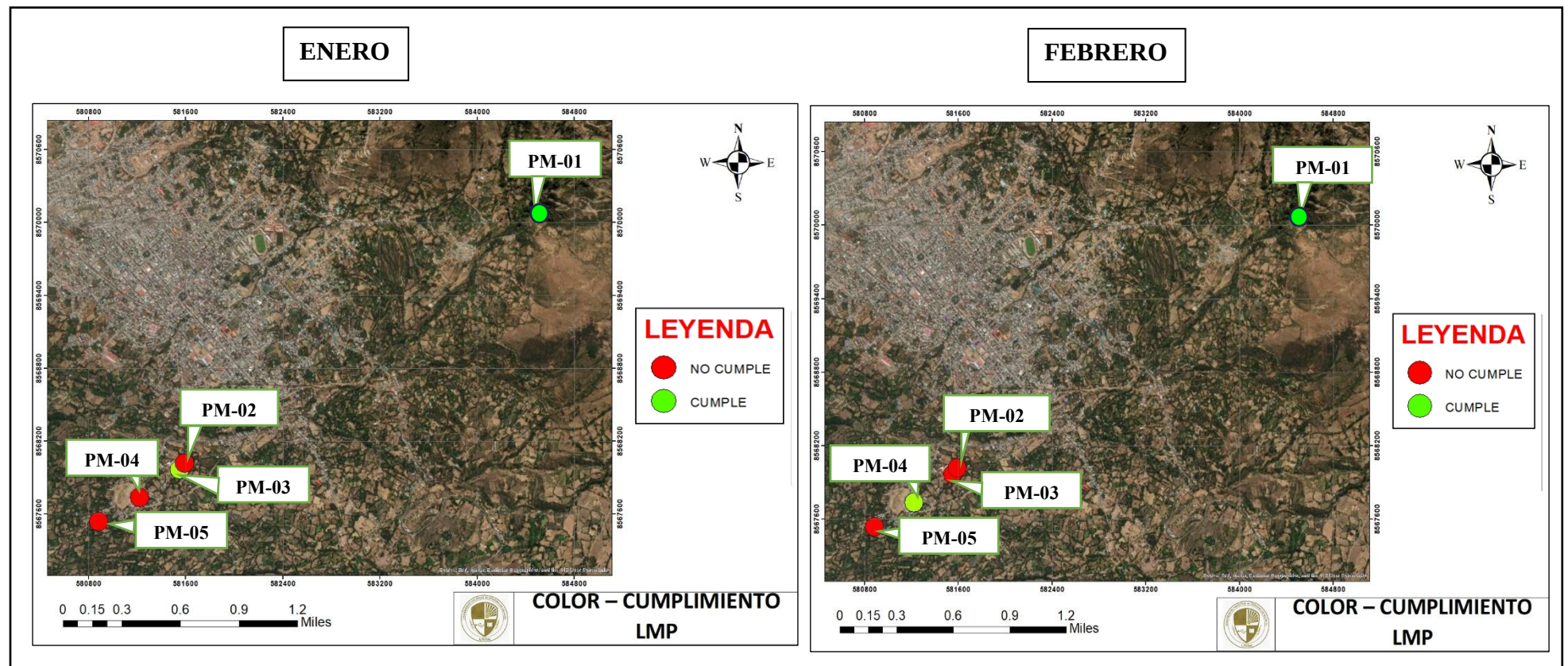
Nota: Elaboración propia

El análisis espacial de la turbidez evidencia diferencias en la distribución del cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) entre las campañas de enero y febrero. Durante enero, el incumplimiento se presenta de manera continua desde el reservorio hasta la última vivienda, lo que refleja que la elevada carga de partículas suspendidas afectó todo el sistema de abastecimiento y limitó la capacidad del tratamiento para mantener la calidad física del agua a lo largo de la red de distribución. En contraste, durante febrero el cumplimiento se concentra en la mayor parte de los puntos monitoreados, restringiéndose el incumplimiento únicamente al extremo final del sistema.

Desde una perspectiva espacial, este cambio de distribución evidencia una mejora en el comportamiento del sistema durante la segunda campaña, ya que las condiciones favorables predominan desde la captación hasta la vivienda intermedia. Sin embargo, la persistencia del incumplimiento en la última vivienda indica que este sector constituye un punto crítico dentro de la red de distribución, donde podrían presentarse procesos de resuspensión de sedimentos, mayor tiempo de permanencia del agua o pérdidas en la eficiencia hidráulica. En este sentido, el análisis cartográfico permite identificar las áreas prioritarias para fortalecer las acciones de monitoreo y control operativo del sistema de abastecimiento.

Figura 22.

Comparación espacial del color en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



Nota: Elaboración propia

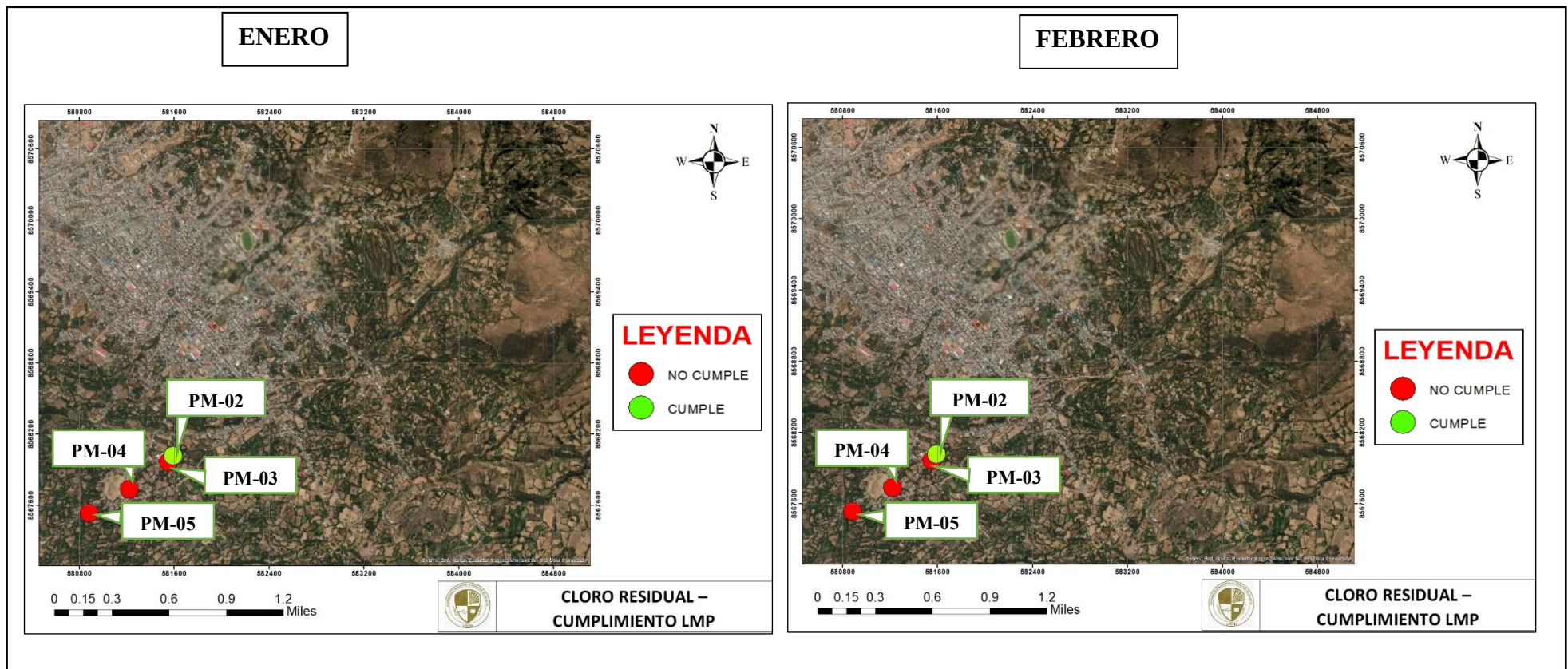
El análisis espacial del color evidencia que el incumplimiento de este parámetro se mantiene distribuido en gran parte del sistema de abastecimiento durante ambas campañas de monitoreo, observándose únicamente sectores puntuales donde se alcanza el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP). En enero, el cumplimiento se restringe a la primera vivienda, mientras que en febrero se desplaza hacia la vivienda intermedia, manteniéndose el resto de los puntos en condición de incumplimiento.

Este patrón espacial sugiere que la remoción del color no se produce de manera uniforme a lo largo del sistema, lo que podría estar asociado a la permanencia de materia orgánica natural, compuestos disueltos o partículas finas que no fueron eliminadas completamente durante las etapas de tratamiento. Asimismo, el cambio de ubicación de los puntos de cumplimiento entre ambas campañas indica que las condiciones del sistema varían espacialmente y responden a la dinámica operativa del tratamiento y de la red de distribución.

En conjunto, la representación cartográfica muestra que el color constituye un parámetro con comportamiento espacial persistente, debido a que los incumplimientos se concentran en la mayor parte de los puntos evaluados durante ambas campañas.

Figura 23.

Comparación espacial del cloro residual en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



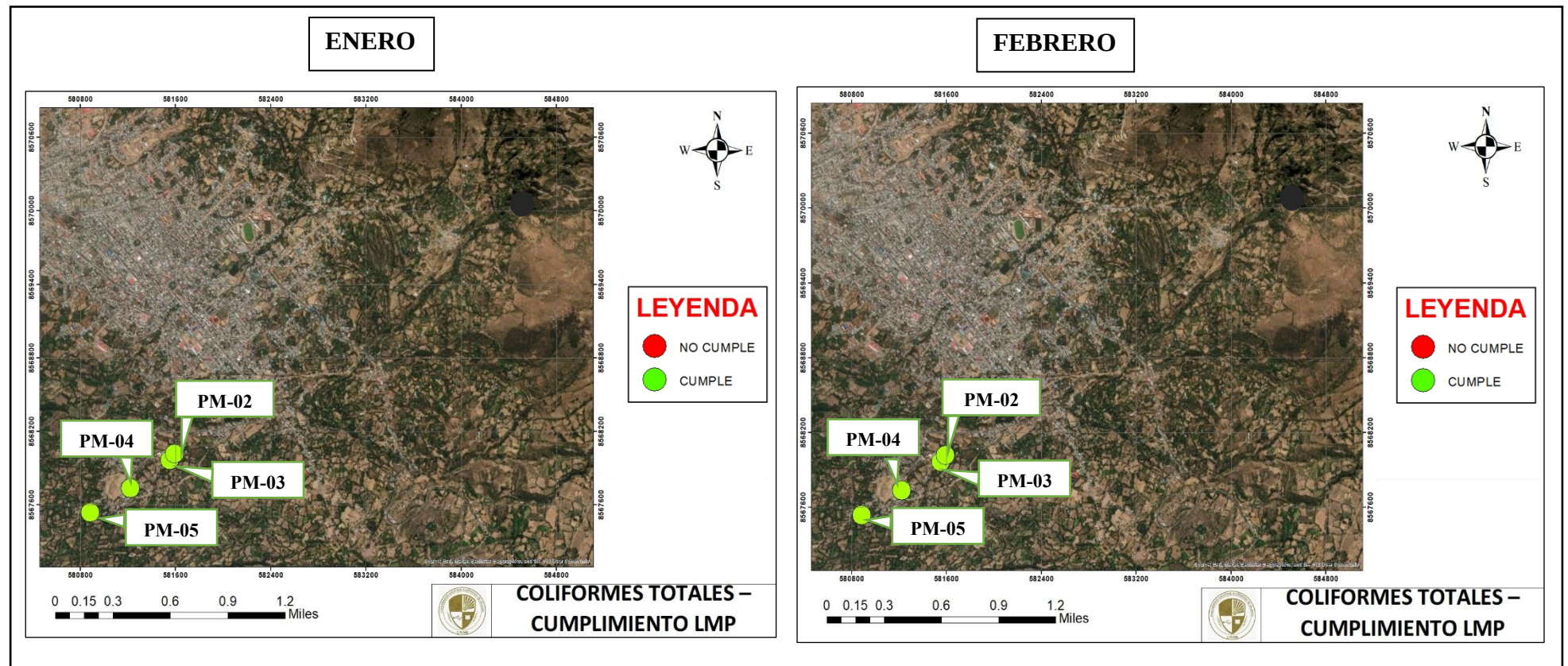
Nota: Elaboración propia

El análisis espacial del cloro residual evidencia un patrón de comportamiento consistente durante las campañas de enero y febrero, observándose que el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) se concentra únicamente en el reservorio, mientras que los puntos correspondientes a la primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda presentan condiciones de incumplimiento. Esta distribución espacial indica que la concentración adecuada del desinfectante se mantiene en la unidad donde se realiza la cloración; sin embargo, pierde efectividad conforme el agua avanza por la red de distribución, limitando la conservación del cloro residual hasta los puntos de consumo.

Desde una perspectiva espacial, este comportamiento sugiere que el cloro residual es consumido progresivamente durante el transporte del agua, debido a procesos de oxidación y reacción con materia orgánica, sedimentos o biofilm presentes en las tuberías, reduciendo la cantidad de desinfectante disponible para mantener la protección sanitaria del sistema. Como consecuencia, los sectores más alejados del reservorio presentan una menor capacidad para conservar la barrera de desinfección frente a una posible recontaminación microbiológica. En ese sentido, el patrón cartográfico identifica a la red de distribución como el tramo de mayor vulnerabilidad, evidenciando la necesidad de optimizar la dosificación del cloro y fortalecer el monitoreo operativo en los puntos finales del sistema para asegurar que el agua llegue con una concentración residual adecuada hasta el consumidor.

Figura 24.

Comparación espacial de coliformes totales en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



Nota: Elaboración propia

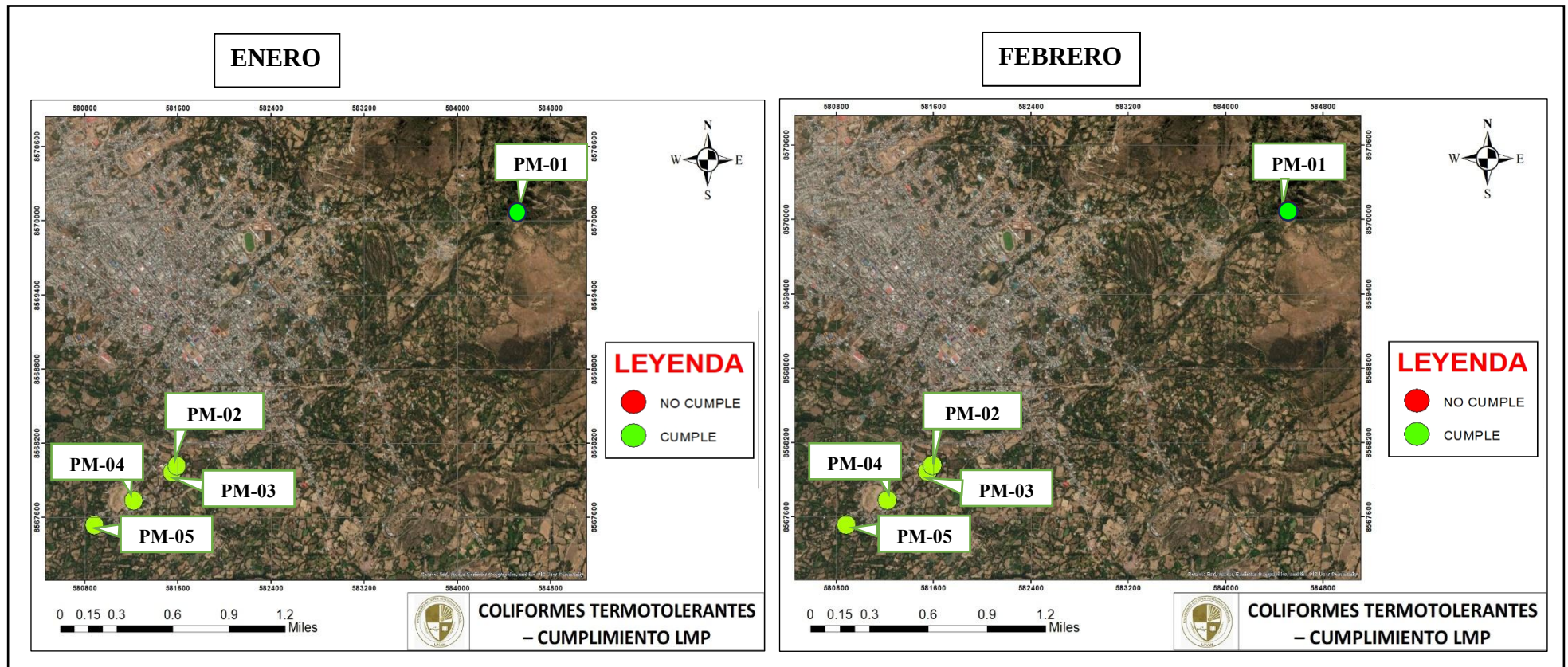
El análisis espacial de los coliformes totales muestra un patrón homogéneo durante las campañas de enero y febrero, donde el cumplimiento se presenta de forma general en el reservorio y los puntos de la red de distribución representando condiciones óptimas de cumplimiento. Esta distribución evidencia que el agua concentra adecuadas concentraciones.

La permanencia del cumplimiento en el reservorio y en las viviendas indica que el proceso de tratamiento, especialmente la etapa de desinfección logró inactivar los microorganismos presentes en el agua antes de su ingreso a la red de distribución.

El patrón cartográfico confirma que el sistema conserva la calidad microbiológica del agua desde el reservorio hasta las viviendas durante ambas campañas de monitoreo. No obstante, la disminución del cloro residual en la red representa una condición que podría incrementar la vulnerabilidad del sistema frente a eventos de contaminación posteriores, por lo que resulta importante mantener un control permanente del proceso de cloración y de las condiciones de distribución para garantizar la inocuidad del agua suministrada a la población.

Figura 25.

Comparación espacial de coliformes termotolerantes en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



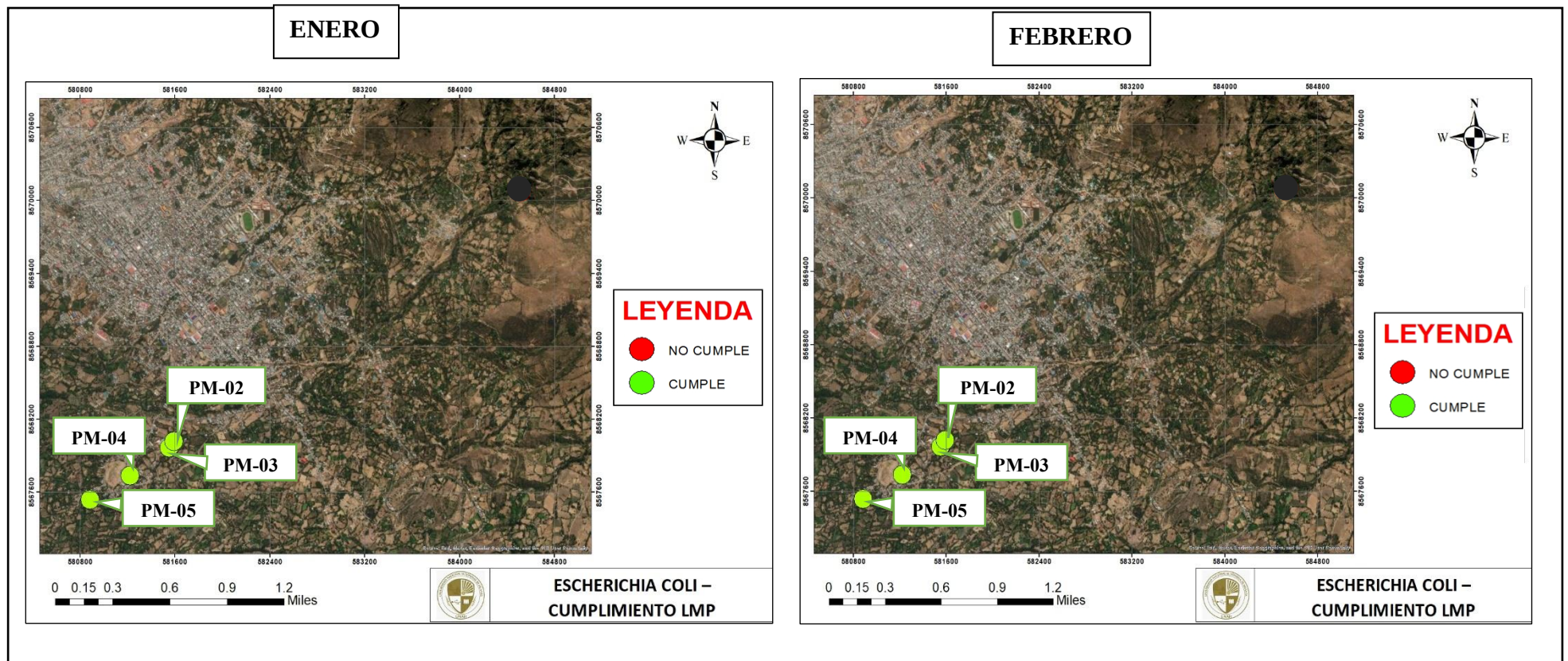
Nota: Elaboración propia

El análisis espacial de los coliformes termotolerantes evidencia un patrón uniforme durante las campañas de enero y febrero, observándose que el reservorio y los puntos de la red de distribución presentan condiciones de cumplimiento de acuerdo a los LMP. Esta distribución indica que la contaminación de origen fecal no se encuentra en el sistema de abastecimiento, lo que demuestra que las etapas de tratamiento, particularmente la desinfección, fueron eficaces para inactivar estos microorganismos antes de que el agua ingresara a la red de distribución, garantizando así una adecuada calidad microbiológica del agua destinada al consumo humano.

La permanencia de este comportamiento en ambas campañas sugiere que se tiene una ausencia de estos microorganismos en el reservorio y en las viviendas los cuales confirman la eficacia del proceso de desinfección y evidencia que no ocurrieron procesos de recontaminación microbiológica durante la distribución del agua. Este patrón espacial refleja que el sistema de tratamiento mantiene una adecuada protección sanitaria.

Figura 26.

Comparación espacial de Escherichia coli en el sistema de abastecimiento durante las campañas de enero y febrero.



Nota: Elaboración propia

La distribución espacial de *Escherichia coli* muestra que el sistema de abastecimiento mantiene condiciones de cumplimiento en ambos periodos de monitoreo. Esta configuración espacial indica que la presencia del microorganismo no se encuentra debido a las etapas posteriores del tratamiento.

La ausencia del microorganismo en el reservorio y en las viviendas demuestra que el proceso de potabilización, particularmente la desinfección, fue eficaz para eliminar este indicador microbiológico antes de su distribución, impidiendo su propagación a lo largo de la red.

En conjunto, el patrón cartográfico refleja que el sistema conserva la calidad microbiológica adecuada en los puntos de abastecimiento, lo que significa que existe un proceso idóneo en la cloración de agua en el reservorio.

4.2. Discusiones

Los resultados obtenidos evidencian que la calidad del agua mejora progresivamente desde la captación hasta los puntos de distribución como consecuencia del tratamiento aplicado en el sistema de abastecimiento. Sin embargo, dicha mejora no es uniforme para todos los parámetros evaluados, ya que mientras los indicadores microbiológicos alcanzan el cumplimiento de la normativa en el reservorio y las viviendas, algunos parámetros fisicoquímicos e inorgánicos continúan presentando incumplimientos puntuales. Este comportamiento demuestra que el sistema es eficiente para controlar la contaminación microbiológica, aunque presenta limitaciones para mantener la estabilidad de algunos parámetros durante la distribución del agua.

En relación con la turbidez, el presente estudio registró un valor máximo de 15.0 NTU en la captación durante la campaña de enero y 1.12 NTU para la campaña de febrero, siendo así que la captación cumple con los Estándares de Calidad Ambiental de 100 NTU para agua superficial destinada a consumo humano, mientras en reservorio y las tres viviendas de estudio presentaron valores elevados de 7.38 NTU, 7.25 NTU, 7.52 NTU y 6.85 NTU respectivamente durante la campaña de enero superando el LMP establecido por el D.S N° 031-2010-SA, mientras durante la segunda campaña de febrero el reservorio, la primera y vivienda intermedia tienen valores aceptables por debajo de los 5 NTU encontrándose dentro del Límite Máximo Permisible, mientras la última vivienda tuvo un resultado de 6.96 NTU superando el LMP para agua destinada al consumo humano. Estos resultados son inferiores a los reportados por Cabrera

y Gallardo (2022), quienes registraron valores de hasta 51.9 NTU en el agua de captación del sector La Perla Escondida (Jaén). No obstante, ambos estudios coinciden en que la turbidez constituye uno de los principales parámetros que afectan la calidad del agua y que su incremento está relacionado con el arrastre de sedimentos durante la época de lluvias.

Respecto al parámetro color, en el presente estudio se registró un valor máximo de 50 UC en la captación durante febrero, observándose además incumplimientos del LMP en el reservorio y en algunos puntos de la red de distribución. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Cisneros (2024), quien reportó concentraciones de hasta 293.5 UC durante la época de lluvias en la captación del sistema de abastecimiento del cantón Chambo. Ambos estudios evidencian que el incremento del color está asociado al ingreso de materia orgánica, partículas finas y sedimentos transportados por la escorrentía superficial durante los periodos de mayor precipitación, afectando la eficiencia de las etapas posteriores del tratamiento cuando las cargas contaminantes aumentan significativamente.

En cuanto al pH, en el presente estudio se registraron valores de 8.95 en la primera vivienda durante enero y de 9.77 durante febrero, superando el Límite Máximo Permisible de 8.5 establecido para agua de consumo humano. Sin embargo, en la captación los valores permanecieron dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), lo que evidencia que el incremento del pH no se origina en la fuente superficial, sino que ocurre dentro del sistema de abastecimiento. Este comportamiento es similar al reportado por Ramírez et al. (2019), quienes encontraron valores de pH superiores a 8.5 en algunas localidades de la provincia de Huanta. En ambos estudios se observa que las variaciones del pH pueden presentarse durante la distribución del agua, lo que sugiere la influencia de factores asociados al funcionamiento de la red de distribución.

En relación con el cloro residual, las concentraciones obtenidas en el reservorio cumplieron con el rango establecido por la normativa, registrándose valores de 1.03 mg/L en enero y 2.50 mg/L en febrero. Sin embargo, en los puntos domiciliarios el cloro residual disminuyó progresivamente hasta valores entre 0.12 y 0.47 mg/L, inferiores al límite mínimo exigido. Este comportamiento coincide parcialmente con lo reportado por Torres (2020), quien encontró concentraciones de 0.0 mg/L en varios puntos de la red de distribución, asociadas a deficiencias en la protección sanitaria del agua. A diferencia de dicho estudio, en la presente investigación la dosificación inicial en el reservorio fue adecuada; no obstante, la disminución del cloro residual durante el recorrido evidencia una elevada demanda de cloro en la red de

distribución, posiblemente favorecida por la presencia de materia orgánica, sedimentos y otras sustancias oxidables que consumen el desinfectante antes de llegar a las viviendas.

Los resultados microbiológicos evidenciaron que la mayor contaminación se concentra en la captación, donde durante febrero se registraron 240 NMP/100 mL de coliformes totales, 93 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes y 43 NMP/100 mL de *Escherichia coli*. No obstante, en el reservorio y en todos los puntos de distribución los valores fueron inferiores a 1.1 NMP/100 mL, cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles para agua de consumo humano. Estos resultados difieren de los obtenidos por Goenaga y Martínez (2017), donde realizó el muestreo en el reservorio en tres campañas diferentes, obteniendo concentraciones elevadas en la primera campaña en los parámetros de coliformes termotolerantes y coliforme fecales con concentraciones de 245 NMP/100 mL y 242 NMP/100 mL respectivamente.

De manera similar, Atencio (2018) reportó concentraciones de hasta 900 y 1000 NMP/100 mL de coliformes totales en sistemas de abastecimiento para consumo humano, evidenciando una deficiente calidad microbiológica asociada a procesos de desinfección insuficientes. Asimismo, Vásquez (2024) registró elevadas concentraciones de coliformes en diferentes puntos del sistema de abastecimiento, observando en el reservorio valores de hasta 900 UFC/100 mL de coliformes totales y 1 UFC/100 mL de coliformes fecales, mientras que en las piletas domiciliarias se registraron 1000 UFC/100 mL de coliformes totales y 1 UFC/100 mL de coliformes fecales. Estos resultados evidencian la persistencia de contaminación microbiológica en el sistema de distribución cuando el proceso de desinfección no resulta suficientemente efectivo. Finalmente, los resultados obtenidos guardan concordancia con los reportados por Quispe (2025), quien evidenció el incumplimiento de los parámetros microbiológicos en el agua proveniente de un manantial del barrio de Orkapata. En dicho estudio, las concentraciones de coliformes totales alcanzaron 30 NMP/100 mL y las de coliformes termotolerantes 7 NMP/100 mL, valores que superan los límites establecidos para agua destinada al consumo humano. Estos hallazgos coinciden con el presente estudio al evidenciar la presencia de contaminación microbiológica, lo que pone de manifiesto la importancia de aplicar un tratamiento de desinfección eficaz antes de la distribución del agua a la población.

V. CONCLUSIONES

- Se evaluó la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el centro poblado de Maynay, determinándose que el sistema de tratamiento es eficiente en la remoción de la contaminación microbiológica, al lograr la eliminación de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* desde el reservorio hasta los puntos de consumo, cumpliendo con los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. Sin embargo, la evaluación evidenció que la eficiencia del sistema no es uniforme para todos los parámetros de calidad del agua, debido a que durante la distribución se presentaron incumplimientos localizados en pH, turbidez, color y cloro residual, lo que indica que, si bien el tratamiento garantiza la seguridad microbiológica del agua, es necesario fortalecer el control operativo y el monitoreo continuo de la red de distribución para mantener la estabilidad de sus características fisicoquímicas hasta el usuario final.
- Se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial en la fuente de captación durante las campañas de monitoreo realizadas en enero y febrero de 2026, evidenciándose que este punto presentó las condiciones de mayor vulnerabilidad sanitaria dentro del sistema de abastecimiento. Si bien los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua superficial, la captación registró las mayores concentraciones de turbidez, color y contaminación microbiológica respecto a los demás puntos monitoreados. Asimismo, se identificaron valores máximos de 240 NMP/100 mL de coliformes totales, 93 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes y 43 NMP/100 mL de *Escherichia coli* durante la campaña de febrero, evidenciando que el agua superficial constituye la principal fuente de ingreso de contaminación al sistema y requiere un tratamiento adecuado antes de su distribución para consumo humano.
- Se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en el reservorio y en los puntos de la red de distribución, verificándose que el tratamiento aplicado fue eficiente en la remoción microbiológica, al eliminar completamente los coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* desde el reservorio hasta las viviendas, cumpliendo con los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA para agua destinada al consumo humano. No obstante, se identificaron incumplimientos puntuales en algunos parámetros fisicoquímicos, registrándose valores máximos de pH de 9.77 en la primera vivienda durante la campaña de febrero, una turbidez de 7.52 NTU en

la vivienda intermedia durante enero, valores de color de hasta 45 UC en el reservorio durante febrero, así como concentraciones de cloro residual entre 0.12 y 0.47 mg/L en las viviendas durante ambas campañas, inferiores al límite mínimo establecido, lo que evidencia que la calidad fisicoquímica del agua disminuye en determinados sectores de la red de distribución del centro poblado de Maynay, demostrando de esta manera que los resultados de 1.03 mg/L en enero y 2.50 mg/L en febrero obtenidos al realizar las mediciones en el reservorio son optimo indicando que las labores de cloración se realizan de manera adecuada, y que la caída drástica de los valores de cloro residual en las viviendas se debe a la condición deteriorada de la infraestructura de la red de distribución.

- Se determinaron las variaciones espaciales de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos mediante el análisis de los mapas temáticos elaborados para las campañas de enero y febrero de 2026, evidenciándose que los incumplimientos no se distribuyen de manera uniforme a lo largo del sistema de abastecimiento. Los mapas permitieron identificar que la fuente de captación no presenta alteraciones en los parámetros microbiológicos ni en parámetros fisicoquímicos, mientras que en la red de distribución los incumplimientos se presentaron de forma localizada, principalmente en pH, turbidez, color y cloro residual, sin afectar de manera general a todos los puntos de monitoreo. Asimismo, el análisis espacial permitió reconocer los sectores más críticos del sistema y evidenció que, aunque el tratamiento controla eficazmente la contaminación microbiológica, la calidad fisicoquímica del agua experimenta variaciones durante su distribución, lo que resalta la importancia del monitoreo continuo y del control operativo para garantizar una calidad uniforme hasta el usuario final.

VI. RECOMENDACIONES

- Fortalecer el control operativo del sistema de potabilización, especialmente en las etapas de tratamiento y desinfección, con el fin de garantizar que el agua distribuida mantenga condiciones estables y cumpla de manera continua con los Límites Máximos Permisibles en todos los puntos del sistema de abastecimiento.
- Implementar un programa de monitoreo periódico de la calidad del agua en la captación, reservorio y red de distribución, considerando parámetros inorgánicos, fisicoquímicos y microbiológicos, a fin de detectar oportunamente variaciones o incumplimientos y tomar medidas correctivas inmediatas.
- Realizar una evaluación y mantenimiento preventivo de la infraestructura hidráulica, incluyendo captación, reservorio, tuberías y accesorios, para reducir posibles alteraciones en la calidad del agua asociadas al almacenamiento o contaminación secundaria dentro del sistema.
- Optimizar la dosificación y seguimiento del cloro residual en el sistema de distribución, asegurando que se mantenga una concentración adecuada en todos los puntos de consumo, de manera que se preserve la calidad microbiológica del agua sin afectar sus características fisicoquímicas.
- Promover la capacitación del personal responsable de la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento, en temas relacionados con control de calidad del agua, manejo de desinfección, interpretación de resultados de laboratorio y respuesta ante incumplimientos, para fortalecer la gestión técnica del servicio de agua potable.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atencio, 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 región Pasco, 2018* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Blanco, M. (2018). *Estudio de la calidad de agua potable para consumo humano en el distrito de Cabanillas, provincia San Román, departamento de Puno* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://acortar.link/2J2mSm>
- Cabrera, A. M. y Gallardo, L. (2022). *Análisis de calidad del agua para consumo humano del sector La Perla Escondida, provincia de Jaén* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén].
- Calua, E. (2024). *Variación del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Baños del Inca – 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/6425>
- Cárdenas, A. (2019). *Evaluación de la calidad de agua del río Savia para uso potable del distrito de Canayre, provincia de Huanta, Ayacucho* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3538>
- Castro, A. S. (2021). *Influencia de las condiciones de almacenamiento del agua para consumo humano sobre su calidad sanitaria en hogares del Asentamiento Humano “Juan Velasco Alvarado”, Ayacucho, 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://acortar.link/eLc7GY>
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Chuquimia, D. (2021). *Monitoreo de calidad de agua mediante percepción remota del Lago Titicaca* [Tesis, Universidad Privada San Carlos S.A.C.]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/92>

- Cisneros, B. A. (2024). *Análisis de la calidad del agua de consumo en la red de distribución de agua potable del sector urbano del cantón Chambo* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Chimborazo]. <https://acortar.link/odCrhq>
- Droste, R. L., y Gehr, R. (2018). *Theory and practice of water and wastewater treatment* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Felix, L. G. y Chavez, B. A. (2022). *Diseño del sistema de agua potable y alcantarillado para mejorar la calidad sanitaria en la localidad de Uramasa, Cajatambo, Lima, 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://acortar.link/05Myhi>
- Flores, J. S. (2017). *Análisis de una red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Jequetepeque mediante análisis multivariado* [Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9381>
- Goenaga, J. P., y Martínez, A. C. (2017). Análisis de la calidad de agua para consumo humano en el corregimiento de La Peña-Atlántico y determinación del riesgo potencial para la salud humana (Trabajo de grado, Universidad de la Costa – CUC). Universidad de la Costa. <https://acortar.link/HV2OOv>
- Gómez, A., Machado, F. y Datshkovsky, D. (2021). *Servicios de agua y saneamiento en América Latina: panorama de acceso y calidad* (Nota técnica del BID N.º 2177). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Gómez, M. S. (2018). *Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla de moringa (Moringa oleífera) como coagulante orgánico en la cuenca baja del río Caravelí – Arequipa, 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://acortar.link/b9kx38>
- Jiménez, D. C., y Rincón, S. del R. (2024). *Evaluación de la calidad de agua potable en el sistema de abastecimiento La Lima, Chirinos 2022* [Tesis, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <https://acortar.link/bnOksF>
- Maldonado, M. (2025). *Análisis microbiológico de la calidad del agua potable de los hogares del distrito de Pichanaqui, Chanchamayo 2024* [Tesis, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/10342>

- Mayca, G. G. (2019). *Calidad de agua del río Rímac, sector Chicla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://acortar.link/OUvObY>
- Metcalf, L., y Eddy, H. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Montgomery, J. M., y Elimelech, M. (2007). *Water treatment principles and design* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Pacheco, J. C. (2024). *Reservorios zonificados y diseño del sistema de abastecimiento para mejorar el consumo de agua potable en zonas rurales* [Tesis, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/9088>
- Palomino, M. C. (2016). *Calidad de agua de consumo humano del distrito de Anco, La Mar, Ayacucho, 2016* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://acortar.link/Lv5K2W>
- Quispe, C. A. (2025). *Calidad del agua según parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del manantial en el barrio Orkapata de la ciudad de Puno – 2024* [Tesis, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/k3PhPj>
- Ramírez, L., Soto, P., y Huamán, E. (2019). Evaluación de la calidad del agua potable en distritos rurales de la provincia de Huanta, Ayacucho. *Revista de Investigación Científica Aypate*, 5(2), 45–58.
- Ramírez, V. (2019). *Proceso de potabilización de agua en el distrito de Ayna (La Mar – Ayacucho) y mantenimiento del sistema de agua potable en el distrito de Kimbiri (La Convención – Cusco)* [Tesis, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/86620d2d-afe8-40ba-a83e-0da01eee9ab9>
- Requena, D. M. (2022). *Mejoramiento del sistema de agua potable en las localidades de Huaquish y Pocor del distrito de Pararín – provincia de Recuay – departamento de Áncash – I etapa* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://acortar.link/odCrhq>

- Sempértegui, R. M. (2021). *Calidad microbiológica del agua para consumo humano en la comunidad de Colpa Tuapampa, Chota* [Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental]. Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/184>
- Spellman, F. R. (2013). *Water and wastewater treatment plant design* (3rd ed.). CRC Press.
- Torres, J. C. (2020). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el centro poblado de Pomalca, distrito de Soritor – Moyobamba* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín]. <https://acortar.link/H5CVS8>
- Torres, T., y Coronación, M. (2021). *Calidad de agua para consumo humano en los centros poblados de Pueblo Libre y Pampachacra* [Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/3762>
- Vasquez, J.C. (2024). *Percepción y calidad del agua para consumo humano en función a indicadores bacteriológicos en la comunidad de Olmos*. [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/p13tw7>
- Vera, M. J., Giler, J. M., Patiño, K. A. y Alcívar, F. E. (2024). Calidad del agua potable y funcionamiento de su red de distribución: un análisis de caso en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(46), 34–59. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss46.2024pp34-59p>
- Villanueva, R. T. (2022). *Diseño del proceso de potabilización de agua del río Autiki, distrito de Pichanaki* [Tesis, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7031>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN EL CENTRO POBLADO DE MAYNAY

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
GENERAL:	GENERAL:			
1. ¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el centro poblado de Maynay?	1. Evaluar la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el centro poblado de Maynay.	VARIABLE INDEPENDIENTE:	• Pretratamiento • Sedimentación • Prefiltración • Filtración • Desinfección	• Tipo de investigación: Aplicada • Nivel de investigación: Descriptivo y Comparativo
ESPECIFICOS:	ESPECIFICOS:			
	1. Determinar los parámetros fisicoquímicos y	Eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial		• Diseño de investigación: de No experimental y

1. ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial de la fuente de abastecimiento, conforme a los criterios establecidos en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM?	microbiológicos del agua superficial de la fuente de abastecimiento, conforme a los criterios establecidos en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.		longitudinal
2. ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de consumo humano del sistema de la red de distribución, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.° 031-2010-SA?	2. Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de consumo humano del sistema de la red de distribución, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.° 031-2010-SA.	VARIABLE DEPENDIENTE Red de distribución • Calidad fisicoquímica • Calidad microbiológica • Cumplimiento normativo	• Población: Centro poblado de Maynay • Muestra: 5 puntos de monitoreo
3. ¿Cuáles son las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de distribución en el Centro poblado de Maynay?	3. Determinar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de distribución en el centro poblado de Maynay.		

ANEXO 2: Toma de muestra de parámetros (físicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos) en la captación



ANEXO 3: Toma de muestra de parámetros (físicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos) en el reservorio



ANEXO 4: Toma de muestra de parámetros (fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos) en la primera vivienda



ANEXO 5: Toma de muestra de parámetros (fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos) en la vivienda intermedia



ANEXO 6: Toma de muestra de parámetros (fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos) en la última vivienda



ANEXO 7: Aplicación del equipo multiparámetro (HANNA) en el monitoreo de la calidad del agua potable



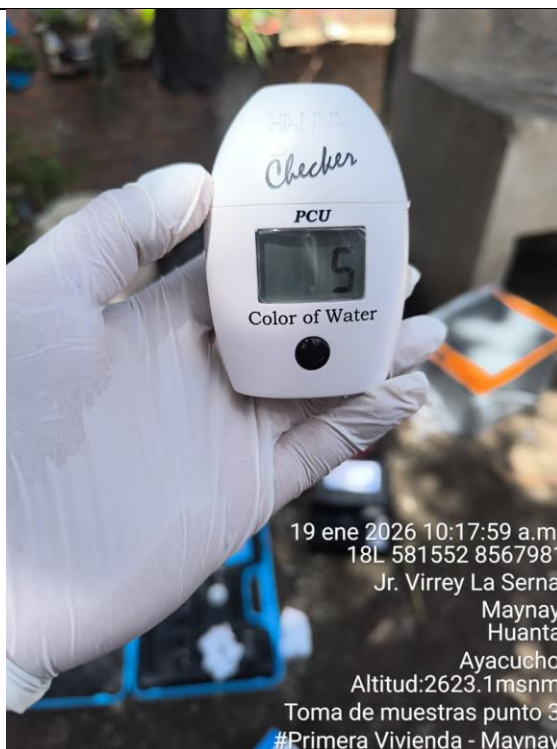
ANEXO 8: Aplicación del equipo Checker Free Chlorine (HANNA) en el monitoreo de la calidad del agua potable



ANEXO 9: Aplicación del equipo de turbidímetro portátil en el monitoreo de la calidad del agua potable



ANEXO 10: Aplicación del equipo colorímetro portátil en el monitoreo de la calidad del agua potable



ANEXO 11: Preservación de muestras microbiológicas



ANEXO 12: Cadena de custodia para monitoreo de agua (Enero)

[illegible]

[illegible]

ANEXO 14: Ficha de campo (Enero)

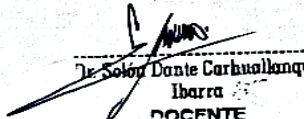
FICHA DE CAMPO						
TESIS	Evaluación de la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el Centro Poblado de Maynay					
MUESTREADOR	Bach. Gunnar Eriksson Simbrón Sánchez					
CONDICIONES CLIMATICAS	Epoca de Avenida					
ORIGEN DE LA FUENTE	Agua Superficial					
LOCALIDAD	Maynay					
DISTRITO	Huanta					
PROVINCIA	Huanta					
DEPARTAMENTO	Ayacucho					
MEDICIONES A REALIZAR						
IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS						
NUMERO DE MUESTRA	CODIGO DE IDENTIFICACION	COORDENADAS		HORAS DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	TIPO DE ANALISIS REQUERIDO
		ESTE	NORTE			
1	PA-01-A1	583515	8569060	08:21 am	19-01-26	Microbiol. - Fisicoq.
2	PA-02-A2	581595	8568000	09:39 am	19-01-26	Microbiol. - Fisicoq.
3	PA-03-A3	581552	8567981	10:05 am	19-01-26	Microbiol. - Fisicoq.
4	PA-04-A4	581158	8567875	10:52 am	19-01-26	Microbiol. - Fisicoq.
5	PA-05-A5	580871	8567527	11:27 am	19-01-26	Microbiol. - Fisicoq.

Dr. Susan Dante Carhuallanqui
Ibarra
DOCENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE AYACUCHO
Bigo. Luis Gonzalo La Torre Torres
ESPECIALISTA EN LABORATORIO DE BIOLOGIA

ANEXO 15: Ficha de campo (Febrero)

FICHA DE CAMPO						
TESIS	Evaluación de la eficiencia del tratamiento de la calidad del agua superficial y de la red de distribución en el Centro Poblado de Maynay					
MUESTREADOR	Bach. Gunnar Eriksson Simbrón Sánchez					
CONDICIONES CLIMATICAS	Epoca de Avenida					
ORIGEN DE LA FUENTE	Agua Superficial					
LOCALIDAD	Maynay					
DISTRITO	Huanta					
PROVINCIA	Huanta					
DEPARTAMENTO	Ayacucho					
MEDICIONES A REALIZAR						
IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS						
NUMERO DE MUESTRA	CODIGO DE IDENTIFICACION	COORDENADAS		HORAS DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	TIPO DE ANALISIS REQUERIDO
		ESTE	NORTE			
1	PA-01-A1	583515	8569060	08:26 am	25-02-26	Microbiol. - Fisicoq.
2	PA-02-A2	581595	8568000	09:48 am	25-02-26	Microbiol. - Fisicoq.
3	PA-03-A3	581552	8567981	10:12 am	25-02-26	Microbiol. - Fisicoq.
4	PA-04-A4	581158	8567875	10:56 am	25-02-26	Microbiol. - Fisicoq.
5	PA-05-A5	580871	8567527	11:18 am	25-02-26	Microbiol. - Fisicoq.


 Dr. Solón Dante Carhuallanqui
 Ibarra
 DOCENTE


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE HUANCAYO
 Bgo. Luis Gonzalo del Torre Torres
 ESPECIALISTA EN LABORATORIO DE BIOLOGIA
 CAP 11714