

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO SUBTERRÁNEA DEL CENTRO POBLADO MARISCAL  
SUCRE Y PADRE BERNARDO, UCAYALI 2025**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**JESSIE NYORAI GARCIA TENAZOA**

Pucallpa, Perú

2026



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**N° 262-2026-CGT-FCFyA-UNU**


En la ciudad de Pucallpa, siendo las 12:30 p.m. del día jueves 16 de abril del 2026, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, siendo designados con Memo Mult. N° 010-2026-UNU-FCFyA-CGT, conformado por:


Dr. Rubén Darío Maturano Pérez	Presidente
Mg. Tedy Tuesta Torrejón	Miembro
Mg. Walter Lauro Pérez Terrel	Miembro

Se procedió a la sustentación de la tesis titulada: **"EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO SUBTERRÁNEA DEL CENTRO POBLADO MARISCAL SUCRE Y PADRE BERNARDO, UCAYALI 2025"**, presentado por la Bach. JESSIE NYORAI GARCIA TENAZOA, cuya sustentación se realiza adecuadamente, cuyo asesor fue la Msc. Jenny Paola Zeña Rubio.

Finalizada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, siendo absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO** por **UNANIMIDAD** y se recomienda la publicación en revista, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**.

Siendo las 13:30 p.m. del mismo día, se procedió por culminar el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad. Se recomienda levantar las observaciones para continuar el trámite correspondiente.

  
 \_\_\_\_\_  
 Dr. Rubén Darío Maturano Pérez  
 Presidente

  
 \_\_\_\_\_  
 Msc. Tedy Tuesta Torrejón  
 Miembro

  
 \_\_\_\_\_  
 Msc. Walter Lauro Pérez Terrel  
 Miembro

## ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero Ambiental.

Dr. Rubén Darío Maturano Pérez



Presidente

Msc. Tedy Tuesta Torrejón



Miembro

Msc. Walter Lauro Pérez Terrel



Miembro

Msc. Jenny Paola Zeña Rubio



Asesor

Bach. Jessie Nyorai Garcia Tenazoa



Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

# CONSTANCIA

## ORIGINALIDAD DE TESIS

N° V/037-2026.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

**"EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA CALIDAD DELA AGUA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO SUBTERRÁNEA DEL CENTRO POBLADO MARISCAL SUCRE Y PADRE BERNARDO, UCAYALI 2025"**

Autor(es) : GARCÍA TENAZOA, JESSIE NYORAI  
Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
Escuela : ING. AMBIENTAL  
Asesor(a) : M.Sc. ZEÑA RUBIO JENNY PAOLA

Presenta un porcentaje de similitud de 10%, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO, De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud, procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 27/01/2026



Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA  
Director de Producción Intelectual



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, JESSIE NYORAI GARCIA TENAZOA

Autor de la tesis titulada: EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO SUBTERRANEA DEL CENTRO POBLADO MARISCAL SUCRE Y PADRE BERNARDO, UCAYALI 2025

Sustentada el año 2026

Asesor(a): M.sc. JENNY PAOLA ZEÑA RUBIO

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL

TOTAL

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali ([www.repositorio.unu.edu.pe](http://www.repositorio.unu.edu.pe)), bajo los siguientes términos:

**Primero:** Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

**Segundo:** Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 24 / 04 / 2026

Email: nyoraig@gmail.com Firma: Jessie

Teléfono: 962976033 DNI: 46799488

## DEDICATORIA

A mis padres Luis y Nilda  
por su amor incondicional, por  
su confianza, sinceridad y  
comprensión en todo el  
proceso de mis estudios.

A mi hija Asiri Nyorai  
Valera Garcia, que es el motor  
e impulso en mi vida para  
seguir adelante.

A mi amado Julio Cesar  
Valera Vela, por su apoyo  
inquebrantable en todo el  
proceso de elaboración de mi  
tesis.

A mis hermanos por  
estar ahí para mí.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento a los que contribuyeron en la realización de la presente tesis:

- A la Universidad Nacional de Ucayali, mi Alma Mater, por haberme brindado la oportunidad de realizarme en una profesión.
- A los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, que me impartieron valiosas enseñanzas durante mi formación profesional como Ingeniero Ambiental.
- A mi Asesora M.sc. Jenny Paola Zeña Rubio por su compromiso en el desarrollo de la presente tesis.
- Asimismo, a todas las personas que de una u otra manera han contribuido en la ejecución y culminación de la presente investigación.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.1.    Planteamiento del problema .....	18
1.2.    Formulación del problema.....	19
1.2.1.  Problema general.....	19
1.2.2.  Problemas específicos.....	19
1.3.    Objetivos de la investigación.....	19
CAPITULIO II MARCO TEORICO.....	21
2.1.    Antecedentes del problema.....	21
2.1.1.  Antecedentes Internacionales .....	21
2.1.2.  Antecedentes Nacionales.....	27
2.1.3.  Antecedentes Locales.....	27
2.2.    Bases teóricas.....	28
2.2.1.  Riesgo en sistemas de agua y saneamiento.....	28
2.2.2.  Criterios para el Análisis y Evaluación de Peligros y eventos peligrosos en Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano .....	34
2.2.3.  Desastres naturales .....	34
2.3.    Definición de términos básicos.....	35
CAPÍTULO III MATEDOLOGIA .....	37
3.1.    Metodología y técnicas utilizadas.....	37
3.1.1.  Enfoque de la investigación .....	37
3.1.2.  Tipo de investigación .....	37
3.1.3.  Nivel de investigación .....	37

3.1.4.	Diseño de la investigación .....	37
3.2.	Población y muestra.....	38
3.2.1.	Población .....	38
3.2.2.	Muestra.....	39
3.2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	40
3.2.4.	Procedimiento de la investigación.....	41
3.2.4.3.	Metodología de análisis de evaluación de los riegos a la calidad del agua .....	45
3.3.	Tratamiento de datos .....	46
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSION.....		47
4.1.	Evaluación del riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.....	47
4.2.	Identificación de los peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.....	55
4.3.	Evaluación de la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.....	59
4.3.1.	Evaluación de la calidad microbiológica del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.....	59
4.3.2.	Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.....	62
4.4.	Evaluación de los parámetros básicos con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo.....	69

4.4.1. Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua de subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo .....	69
4.4.2. Evaluación de la Turbiedad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo .....	72
4.4.3. Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo .....	74
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
5.1. Conclusiones.....	78
5.2. Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	80
ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Numero de Muestras según centro poblado.....	40
Tabla 2 Parámetros y métodos de referencia de análisis.....	42
Tabla 3 Gravedad del impacto .....	45
Tabla 4 Probabilidad del evento .....	46
Tabla 5 Matriz de Riesgo - Método Semi Cuantitativo .....	46
Tabla 6 Evaluación del riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo .....	47
Tabla 7 Evaluación del riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre.....	49
Tabla 8 Peligros al que están expuesto los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo .....	55
Tabla 9 Evaluación de la calidad microbiológica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre .....	59
Tabla 10 Evaluación de la calidad microbiológica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo .....	60
Tabla 11 Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre .....	62
Tabla 12 Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procedimiento y Criterios para el Análisis y Evaluación de Peligros y eventos peligrosos en Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano.....	34
Figura 2 Mapa de Ubicación del Centro Poblado Mariscal Sucre .....	38
Figura 3 Mapa de Ubicación del Centro Poblado Padre Bernardo Mercier .....	39
Figura 4 Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre .....	69
Figura 5 Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo.....	70
Figura 6 Evaluación de la Turbiedad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre. ....	72
Figura 7 Evaluación de la Turbiedad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo.....	73
Figura 8 Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo .....	74
Figura 9 Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre .....	75
Figura 10 Centro poblado Mariscal Sucre - Distrito de Yarinacocha .....	89
Figura 11 Centro Poblado Padre Bernardo - Distrito de Yarinacocha .....	89
Figura 12 Recolección de muestra en la vivienda MS-02- Centro Poblado Mariscal Sucre.....	90
Figura 13 Recolección de muestra en la vivienda MS-03- Centro Poblado Mariscal Sucre.....	90
Figura 14 Recolección de muestra en la vivienda MS-01- Centro Poblado Mariscal Sucre.....	91

Figura 15 Análisis de cloro en la vivienda MS-03- Centro Poblado Mariscal Sucre. .....	91
Figura 16 Recolección de muestra en la vivienda PB-01- Centro Poblado Padre Bernardo.....	92
Figura 17 Recolección de muestra en la vivienda PB-02- Centro Poblado Padre Bernardo.....	92
Figura 18 Recolección de muestra en la vivienda PB-04- Centro Poblado Padre Bernardo.....	93
Figura 19 Análisis de cloro en la vivienda PB-02- Centro Poblado Padre Bernardo .....	93

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el riesgo en la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo (Ucayali, 2025), identificando peligros, evaluando la calidad y analizando el comportamiento de parámetros básicos en la red de distribución. La investigación fue de tipo descriptiva–evaluativa. Se aplicó la metodología de riesgo sanitario basada en lineamientos del D.S. N.º 031-2010-SA y OMS. Se realizaron muestreos en captación, reservorio y viviendas; se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y se elaboró una matriz de peligros considerando probabilidad y severidad. Los resultados muestran aguas subterráneas con baja mineralización y ausencia de contaminantes químicos críticos. La conductividad osciló entre 296 y 430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los Sólidos Disueltos Totales se mantuvieron  $< 500 \text{ mg/L}$  y los nitratos fueron de  $0,6 \text{ mg/L}$ , valores dentro de la normativa. En Padre Bernardo, el hierro alcanzó  $0,745 \text{ mg/L}$  y el manganeso  $0,304 \text{ mg/L}$ , cercanos o superiores a los valores guía. El hallazgo más crítico fue la ausencia de cloro residual libre en toda la red ( $0,02 \text{ mg/L}$ ), acompañada de presencia ocasional de coliformes. La turbiedad y la conductividad no aumentaron con la distancia a las viviendas. Se concluye que el principal riesgo proviene de la desinfección insuficiente y de debilidades operativas más que de la fuente subterránea. Se concluye que el problema principal no radica en la fuente subterránea, sino en la desinfección insuficiente, la protección inadecuada del sistema y la gestión operativa limitada. Se recomienda implementar un Plan de Seguridad del Agua, fortalecer la cloración continua, mejorar el control sanitario y desarrollar programas de capacitación para garantizar agua segura a la población.

**Palabras clave:** Agua subterránea, Calidad del agua, Riesgo sanitario, Cloro residual, Sistemas rurales.

## ABSTRACT

This study aimed to assess the water quality risks of the groundwater supply systems in the Mariscal Sucre and Padre Bernardo communities (Ucayali, 2025), identifying hazards, evaluating water quality, and analyzing the behavior of basic parameters in the distribution network. The research was descriptive-evaluative. The sanitary risk methodology, based on guidelines from Supreme Decree No. 031-2010-SA and the WHO, was applied. Sampling was conducted at the water intake, reservoir, and homes; physicochemical and microbiological parameters were determined, and a hazard matrix was developed considering probability and severity. The results show groundwater with low mineralization and an absence of critical chemical contaminants. Conductivity ranged from 296 to 430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Total Dissolved Solids remained below 500 mg/L, and nitrates were 0.6 mg/L, values within regulatory limits. In Padre Bernardo, iron reached 0.745 mg/L and manganese 0.304 mg/L, close to or above the guideline values. The most critical finding was the absence of free residual chlorine throughout the network (0.02 mg/L), accompanied by the occasional presence of coliform bacteria. Turbidity and conductivity did not increase with distance from homes. It is concluded that the main risk stems from insufficient disinfection and operational weaknesses rather than the groundwater source itself. The main problem lies not in the groundwater source, but in insufficient disinfection, inadequate system protection, and limited operational management. It is recommended to implement a Water Safety Plan, strengthen continuous chlorination, improve sanitary control, and develop training programs to guarantee safe water for the population.

**Keywords:** Groundwater, Water quality, Health risk, Residual chlorine, Rural systems.

## INTRODUCCIÓN

El acceso a agua segura constituye uno de los principales determinantes de la salud pública, especialmente en contextos rurales donde los sistemas de abastecimiento presentan limitaciones técnicas, operativas y de gestión. Diversos organismos internacionales han señalado que una parte importante de la población mundial aún consume agua que no cumple con los estándares de calidad establecidos, incrementando el riesgo de enfermedades de origen hídrico, particularmente en niños y poblaciones vulnerables (OMS, 2017). En el Perú, pese a los avances en cobertura, persisten brechas significativas en la calidad y continuidad del servicio, especialmente en centros poblados que dependen de fuentes subterráneas y esquemas de operación comunitaria (MINSa, 2020).

Los sistemas de abastecimiento subterráneos suelen considerarse más seguros frente a la contaminación superficial; sin embargo, no están exentos de riesgos. La infiltración de aguas residuales, la presencia de suelos arcillosos, las inundaciones, la proximidad de letrinas y botaderos, así como la ausencia de protección sanitaria alrededor de pozos y reservorios, pueden comprometer la calidad del agua distribuida. A ello se suma la insuficiente cloración, el manejo inadecuado de la infraestructura y la limitada capacidad técnica de las organizaciones administradoras, factores que incrementan la probabilidad de recontaminación en la red y en los hogares.

En este contexto, la evaluación sistemática del riesgo no solo del cumplimiento de parámetros resulta fundamental. El enfoque de Planes de Seguridad del Agua propone identificar peligros, analizar vulnerabilidades y establecer medidas de control a lo largo de todo el sistema, desde la fuente hasta el punto de consumo (OMS, 2011). En el Perú, el marco normativo (D.S. N.º 031-2010-SA) establece límites para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como lineamientos para la desinfección, sin embargo, su implementación en zonas rurales continúa siendo desigual (MINSa, 2020).

El Centro Poblado Mariscal Sucre y el Centro Poblado Padre Bernardo, ubicados en el distrito de Yarinacocha, de la región Ucayali, dependen de

sistemas de abastecimiento subterráneos que, si bien constituyen una alternativa viable, operan en condiciones ambientales y sociales complejas. La presencia de inundaciones estacionales, el crecimiento urbano no planificado y la limitada disponibilidad de recursos para operación y mantenimiento hacen necesario evaluar de manera integral la calidad del agua y los riesgos asociados a su consumo.

El presente estudio tuvo como propósito evaluar el riesgo en la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea de ambos centros poblados durante el año 2025. Para ello, se identificaron los peligros a los que están expuestos los sistemas, se evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en captación, reservorio y viviendas, y se analizaron variaciones de parámetros básicos con respecto a la distancia de distribución. La generación de esta evidencia permitirá orientar acciones de mejora, priorizar intervenciones y fortalecer la gestión comunitaria del agua.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento del problema

El acceso a agua potable de calidad es un derecho fundamental para la salud pública y el bienestar de la población. En la ciudad de Pucallpa, ubicada en la región Ucayali, gran parte del suministro de agua proviene de fuentes subterráneas, las cuales están expuestas a diversos contaminantes naturales y antropogénicos. Entre estos contaminantes, el hierro es uno de los elementos que puede influir negativamente en la calidad del agua y en la salud de los consumidores. Aunque el hierro es un micronutriente esencial para el organismo humano, su presencia en concentraciones elevadas en el agua potable puede generar problemas significativos tanto en la salud como en la infraestructura de distribución del agua. Diversos estudios han señalado que la presencia excesiva de hierro en el agua potable puede ocasionar alteraciones gastrointestinales, como diarreas y náuseas, así como afectar órganos internos cuando se consume de manera prolongada (Autoridad Nacional del Agua, 2020). Además, el hierro favorece el crecimiento de bacterias férricas, las cuales pueden obstruir tuberías y generar biopelículas que reducen la calidad del agua distribuida a los hogares. Desde el punto de vista organoléptico, el agua con altos niveles de hierro puede presentar un sabor metálico, olor desagradable y coloración rojiza, lo que la hace poco atractiva para el consumo humano. En el caso de Pucallpa, se han realizado estudios preliminares sobre la calidad del agua subterránea, en los cuales se ha identificado la presencia de hierro en concentraciones variables (Autoridad Nacional del Agua, 2020). Sin embargo, aún existe una limitada información sobre la magnitud real de este problema y sus efectos en la población local. La falta de monitoreos periódicos y estudios detallados impide conocer el impacto del hierro en la calidad del agua y en la salud pública, lo que representa un desafío para la formulación de políticas y estrategias de mitigación. Ante esta situación, es necesario desarrollar una investigación que permita evaluar la concentración de hierro en el agua subterránea de Pucallpa, analizando sus efectos en la salud de la población y en la infraestructura del sistema de abastecimiento de agua. Esto permitirá diseñar estrategias adecuadas para el

tratamiento del agua y garantizar que el suministro sea seguro y de calidad. La implementación de normativas más estrictas y tecnologías de filtración avanzadas podría contribuir a mitigar los efectos adversos del hierro en el agua potable y mejorar la calidad de vida de los habitantes de Pucallpa.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál es el Riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son los peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?
- ¿Cuál es la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?
- ¿Cuál es el efecto de los parámetros básicos con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar el riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar los peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025
- Evaluar la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025
- Evaluar el efecto de los parámetros básicos con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.

## CAPITULIO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Giao y Thi (2023), realizaron un estudio sobre la calidad de las aguas subterráneas en el delta del Mekong, evaluando su impacto en la salud humana. Utilizando un índice de calidad de aguas subterráneas (GWQI), analizaron muestras de 60 pozos en las provincias de An Giang, Kien Giang, Hau Giang y Dong Thap. Se midieron 12 parámetros, incluyendo pH, sólidos disueltos totales, coliformes y metales pesados como arsénico y manganeso. Los resultados mostraron que las aguas estaban contaminadas, atribuible a actividades antropogénicas como el mal manejo de aguas residuales y desechos industriales. Aunque el 30% de las muestras se clasificaron como muy buenas para beber, más del 26% no eran aptas para el consumo. La evaluación de riesgos reveló que los niños eran más vulnerables a los efectos del arsénico, con riesgos de cáncer significativamente altos para ambos grupos etarios. Se identificaron riesgos de salud notables, con un cociente de riesgo agregado de 9,54 para metales pesados. Ante esta situación, se sugieren tratamientos de agua en el hogar y una evaluación continua de la calidad del agua subterránea para proteger la salud pública en la región.

Islam y otros (2023) llevaron a cabo un estudio sobre los riesgos para la salud asociados a altos niveles de manganeso (Mn) y hierro (Fe) en las aguas subterráneas de Sreemangal y Moulvibazar Sadar, Bangladesh, donde el agua subterránea es la principal fuente de agua potable. Se analizaron muestras de 23 pozos entubados, utilizando espectrometría de absorción atómica y espectrofotometría UV-visible para determinar las concentraciones de Mn y Fe. Los hallazgos revelaron que el 73% y el 69% de las muestras excedían los niveles aceptables de Mn y Fe, respectivamente, según las normas de Bangladesh y la OMS. Además, el índice de calidad del agua mostró que el 34,8% de las muestras eran de calidad deficiente, mientras que solo el 17,3%

eran de calidad excelente. Para evaluar el riesgo de salud, se calcularon índices de riesgo (HI) para niños y adultos. Los resultados indicaron que los niños enfrentan un mayor riesgo, con medias de HI de 2,69 y 3,93 para Moulvibazar Sadar y Sreemangal, respectivamente. En contraste, los adultos presentaron valores más bajos, de 0,37 y 0,44. Esto sugiere que los riesgos asociados a Mn y Fe son más pronunciados en los niños de la región.

Gad y otros (2023) llevaron a cabo una investigación sobre la calidad de las aguas subterráneas en el oasis de El Kharga, Egipto, centrándose en el acuífero de arenisca de Nubia. Utilizaron métodos de indexación, incluyendo el índice de calidad del agua potable (DWQI) y el índice de salud (HI), junto con análisis estadísticos multivariantes, redes neuronales artificiales (ANN) y sistemas de información geográfica (SIG). Se analizaron 140 pozos, identificando diversas facies de agua y altos niveles de metales pesados, especialmente hierro (Fe) y manganeso (Mn), que superaban los límites establecidos por la OMS. La mayoría de las muestras se clasificaron como no aptas para beber, mientras que algunas fueron consideradas de buena calidad. El análisis de riesgo reveló un potencial riesgo de salud por ingestión de agua, especialmente para los niños en una ubicación específica. Sin embargo, el riesgo de exposición dérmica fue bajo en todas las áreas. Los contaminantes se originaron de fuentes naturales y actividades humanas. El modelo ANN-SC-13 mostró la correlación más fuerte con el DWQI, destacando la importancia de ciertos parámetros para la predicción. La integración de estos enfoques puede ayudar a comprender la calidad del agua y prevenir enfermedades transmitidas por el agua.

Rashid y otros (2023) investigaron la calidad de las aguas subterráneas y los riesgos para la salud en áreas cercanas a minas de cromita en Malakand, Pakistán, enfocándose en la contaminación por metales pesados (MH). Evaluaron las concentraciones de metales y variables fisicoquímicas, analizando 35 muestras de agua de la región minera, 20 de la no minera y 5 de las minas de cromita, utilizando ICPMS. Los resultados mostraron concentraciones de Cr, Ni y Mn que superan los límites recomendados por la OMS. La especiación geoquímica evaluó la movilización y toxicidad de los metales en el agua subterránea, revelando facies dominantes de  $\text{CaHCO}_3$  y  $\text{NaHCO}_3$ . El riesgo no

cancerígeno y cancerígeno se ordenó como Ni > Cr > Mn, indicando que los niños son más vulnerables. Un análisis de conglomerados mostró que el 66,67% de las áreas evaluadas estaban severamente contaminadas. Los modelos PMF y PCAMLR identificaron fuentes de contaminación geogénicas y antropogénicas. Los altos niveles de contaminantes hicieron que las aguas subterráneas fueran inadecuadas para el consumo y la agricultura, sugiriendo la necesidad de planes de gestión sostenible para mitigar los riesgos para la salud y garantizar la seguridad hídrica.

Chakraborty y otros. (2022) investigaron la contaminación de aguas subterráneas en la zona rural de Jashore, Bangladesh, y los riesgos para la salud humana debido al arsénico (As), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Encontraron que el pH medio del agua era  $7,25 \pm 0,31$  y la conductividad  $633,94 \pm 327,41 \mu\text{s/cm}$ . Aproximadamente el 73 %, 97 % y 91 % de las muestras superaron los límites permitidos para As, Fe y Mn, respectivamente. Los índices de contaminación revelaron que entre el 82 % y el 100 % de las muestras presentan niveles críticos de contaminación. La distribución espacial mostró una alta exposición a As (73 %), Fe (82 %) y Mn (46 %). En cuanto a los riesgos no cancerígenos por exposición oral, el 94 % de las muestras indicaron un riesgo alto para bebés, y el 97 % para niños y adultos. Además, el riesgo cancerígeno del As fue alarmante: el 97 % de las muestras indicaron alto riesgo para bebés, y el 100 % para niños y adultos. Los hallazgos subrayan la necesidad urgente de medidas de mitigación para reducir la exposición y proteger la salud de la población.

Ullah y otros (2022) investigaron la contaminación de aguas subterráneas por metales potencialmente nocivos (PHM) en el distrito industrial de Sheikhpura, Punjab, Pakistán. Con 748 industrias en la zona, los efluentes industriales y lodos de depuradora han generado un grave problema ambiental. Se analizaron 243 muestras de agua de pozos comunitarios, evaluando parámetros como pH, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad eléctrica (CE) y la presencia de metales como arsénico (As), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) y hierro (Fe). Los resultados mostraron que As (91%), Pb (97%), Mn (14%), Fe (45%) y Zn (15%) superaban los límites establecidos por la OMS. El análisis de componentes principales (PCA) indicó que el 30,9% de la contaminación proviene de fuentes geogénicas, el 31,3% de

fuentes antropogénicas y el 37,6% de ambas. Factores como la interacción roca-agua, actividades mineras, agricultura y descargas industriales contribuyen a la contaminación. Los acuíferos presentan saturación con minerales como hidróxido de plomo y goethita. En cuanto a riesgos para la salud, el riesgo no cancerígeno del As en niños (1.58) superó el límite permitido, mientras que el riesgo cancerígeno de todos los metales analizados permaneció por debajo del umbral crítico.

Kazemi y otros (2022) evaluaron el riesgo para la salud del cromo total (Cr T) en los qanats de Khorasan del Sur, Irán, un sistema histórico de abastecimiento de agua potable. Durante el verano de 2020, se analizaron 83 qanats, midiendo parámetros como temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS). En el laboratorio, las muestras fueron filtradas y fijadas con ácido nítrico para la detección de Cr T mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los resultados mostraron concentraciones de Cr T entre 1,79 y 1017,05  $\mu\text{g/L}$ , con 25 estaciones superando el estándar de la OMS (50  $\mu\text{g/L}$ ). El índice de riesgo no cancerígeno (HQ) indicó que el 90,37% de las muestras presentaban un peligro insignificante ( $\text{HQ} < 1$ ), mientras que el 9,63% superó el umbral de riesgo. En cuanto al riesgo cancerígeno (CR), el 81,93% de los qanats presentaron un riesgo inaceptable ( $\text{CR} > 1.00\text{E}-04$ ), mientras que el 18,07% se encontró en un rango aceptable. El mapa de zonificación reveló mayores riesgos en el sur de la región. En conclusión, el Cr T en los qanats representa un alto riesgo carcinogénico, lo que exige medidas urgentes para garantizar agua potable segura para los residentes.

Rahman y otros (2021) evaluaron la calidad del agua potable y los riesgos para la salud de los niños en edad escolar en la costa suroeste de Bangladesh, una región vulnerable. Se analizaron pozos entubados utilizados en horario escolar, midiendo parámetros como conductividad eléctrica (CE), turbidez, cloruro, sólidos disueltos totales (TDS), dureza, hierro (Fe) y manganeso (Mn), cuyos valores promedio superaron los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las concentraciones de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn) fueron menores a los valores guía de la OMS. El análisis de correlación de Spearman mostró que la CE depende de los TDS, cloruros y

caciones responsables de la dureza, mientras que la turbidez está relacionada con el contenido de Fe en el agua subterránea. Los cocientes de riesgo (CSR) de As, Fe, Mn y Zn indicaron que no hay riesgos no cancerígenos para los niños. Sin embargo, el riesgo cancerígeno (CR) por exposición al As fue 1,5 a 1,8 veces mayor que el valor seguro provisional ( $10^{-4}$ ), lo que implica un riesgo de cáncer a largo plazo. Se recomienda un monitoreo inmediato y efectivo para garantizar la seguridad del agua potable en la zona.

Chandra Ghosh y otros (2020) evaluaron los riesgos para la salud humana debido a la ingesta de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en aguas subterráneas de Jashore, Bangladesh, una zona con alta contaminación por arsénico. Se analizaron pozos previamente identificados como seguros para el arsénico. Los resultados mostraron que el 73% y el 87% de las muestras excedían los límites de Fe y Mn establecidos en Bangladesh, respectivamente. La distribución espacial reveló que solo el 5% del área de aguas subterráneas tenía niveles seguros de estos metales. Se calculó el cociente de riesgo (HQ) para evaluar el impacto en la salud de adultos y niños. Los HQ indicaron riesgos no cancerígenos significativamente más altos en adultos (Fe: hasta 1,446; Mn: hasta 2,459) en comparación con niños (Fe: 0,590; Mn: 1,004). Esto sugiere que la exposición prolongada puede causar efectos adversos en la salud, especialmente en adultos. Con base en la incidencia y distribución de Fe y Mn, Jashore se clasifica como una zona de alto riesgo, lo que requiere atención urgente para mitigar los efectos en la salud pública y garantizar el acceso a agua potable segura.

Adimalla (2019) investigó los factores que afectan la calidad del agua subterránea en la región semiárida del sur de la India, específicamente en Telangana, utilizando el índice de calidad del agua (WQI) y la evaluación de riesgos para la salud (HRA). Dado que el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para consumo y uso doméstico, su calidad representa un problema significativo, especialmente en los tres acuíferos estudiados. Se recolectaron 194 muestras para analizar fluoruro, nitrato, cloruro y otros parámetros fisicoquímicos. Se encontró que los niveles de fluoruro ( $F^{-}$ ), nitrato ( $NO_3^{-}$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ), sólidos disueltos totales y dureza total superaban los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Más del 50% de

las muestras no eran aptas para el consumo humano debido a la alta presencia de fluoruro y nitrato, atribuida a la erosión de rocas y fuentes antropogénicas. Sin embargo, más del 90% de las fuentes eran adecuadas para el riego. La evaluación de riesgos, basada en el modelo de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., reveló que los niños tenían el mayor riesgo de exposición, con índices de riesgo más altos que en adultos, debido a la ingesta de agua altamente contaminada con fluoruro y nitrato en la región.

Adimalla y Qian (2019) evaluaron la calidad del agua subterránea en la región agrícola de Nanganur, en el sur de la India, utilizando el índice de calidad del agua (ICA) y la evaluación de riesgos para la salud humana (RHH). El estudio analizó la contaminación por nitratos y su impacto en la salud de bebés, niños y adultos, en una zona donde el agua subterránea es la única fuente de consumo. El agua subterránea en la región resultó ser ligeramente alcalina y moderadamente dura. La concentración de nitratos varió entre 25 y 198 mg/L, con un promedio de 66,14 mg/L, superando el límite seguro de la OMS (50 mg/L) en el 61 % de las muestras. Los valores de ICA oscilaron entre 92 y 295, con un promedio de 153, indicando que el 86 % de las muestras eran de mala calidad para el consumo humano. Los riesgos no cancerígenos fueron mayores en lactantes, seguidos de niños y adultos, con un riesgo 1.75 veces superior para los lactantes en comparación con los adultos. Dado el alto riesgo para la salud, especialmente en bebés, se recomienda la implementación de estrategias para reducir la exposición a nitratos en el agua potable de la región.

Pérez y otros (2018) analizaron la aplicación del sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (APPCC) en el tratamiento de agua, combinándolo con los principios de los planes de seguridad del agua (PSA). El estudio se llevó a cabo en una planta de potabilización en Cali, Colombia, e incluyó dos etapas: identificación de peligros y eventos peligrosos, y determinación de puntos críticos de control (PCC) y puntos de atención (POA). Durante 18 meses, se realizaron diez jornadas de muestreo para caracterizar el agua en diferentes etapas del proceso: cruda, clarificada, filtrada y tratada. Se identificaron 40 eventos peligrosos, de los cuales 26 fueron clasificados como PCC y 10 como POA. Un árbol de decisión permitió evaluar los eventos con riesgo medio o superior. Las fases de coagulación, floculación/clarificación,

filtración y desinfección fueron los principales PCC, mientras que la captación, los canales y las tuberías de conducción fueron priorizados para planes de mejoramiento. Este enfoque permitió fortalecer la gestión del tratamiento de agua potable, optimizando la identificación de riesgos y mejorando las estrategias de control para garantizar la seguridad del agua en la ciudad de Cali.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Huarachi y Huarachi (2019), la investigación se titula “procedimientos para la evaluación del riesgo en el sistema de abastecimiento de agua potable en el distrito de ciudad nueva, departamento de Tacna”, que tiene por objetivo definir los procedimientos adecuados para determinar los parámetros de evaluación del riesgo de las redes de distribución de agua potable frente a fenómenos naturales, identificando los parámetros para determinar el nivel de peligrosidad y vulnerabilidad para así poder obtener el nivel del riesgo; la presente investigación será de tipo descriptivo-explicativo mas no experimental, teniendo como variables la infraestructura y el nivel del riesgo, para el proceso de determinación de los datos se tuvo como referencia al manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Teniendo en cuenta todo lo anteriormente mencionado, se obtuvo que la peligrosidad ante un sismo es 0.2347 (nivel alto) y de deslizamiento es 0.150 (nivel alto), la vulnerabilidad es de 0.311 (nivel alto), por lo tanto, se determinó que el producto de la relación de peligrosidad y vulnerabilidad es alto y muy alto, se puede interpretar que la red de distribución de agua potable del distrito de Ciudad Nueva se encuentra en riesgo alto ante deslizamiento y muy alto ante sismo.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Guimaraes (2022), Este estudio evaluó la calidad del agua para consumo humano en el Asentamiento Humano San Isidro, Callería, Coronel Portillo, entre febrero y abril de 2021. Se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua suministrada por la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) San Isidro, comparándolos con los límites establecidos

en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano. El estudio, de tipo descriptivo y no experimental, incluyó la recolección de 10 muestras de agua del reservorio y dos viviendas, siguiendo los protocolos oficiales de muestreo y conservación. Los análisis determinaron que el cloro residual libre no alcanzó el límite mínimo permisible de 0.5 mg/L, mientras que los coliformes totales y termotolerantes superaron los valores permitidos, indicando contaminación microbiológica. Por otro lado, los parámetros químicos cumplieron con los límites establecidos. Los resultados concluyen que el agua suministrada por la JASS San Isidro no es apta para el consumo humano debido a la presencia de microorganismos y la deficiencia de cloro residual, representando un riesgo para la salud de los habitantes. Se recomienda tomar medidas correctivas para mejorar la calidad del agua y garantizar la seguridad sanitaria de la población.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Riesgo en sistemas de agua y saneamiento**

La calidad inocua del agua suministrada a las comunidades es una consideración importante en la protección de la salud y el bienestar humanos, pero no es el único factor que afecta a los consumidores. El acceso al agua es una preocupación básica, y, por consiguiente, deben tenerse en cuenta otros factores, tales como la población servida, la fiabilidad del abastecimiento y el costo para el consumidor (OMS, 1998).

#### **2.2.1.1. Abastecimiento de agua a las comunidades**

La definición precisa de un abastecimiento de agua a la comunidad, presentará variaciones. Una definición basada en el tamaño de la población o en el tipo de abastecimiento puede resultar apropiada en muchos casos, pero con frecuencia son la administración y la gestión las que sitúan aparte los abastecimientos a la comunidad, y ello es particularmente cierto en los países en desarrollo (OMS, 1998).

##### **2.2.1.1.1. Funcionamiento de un sistema de abastecimiento de agua**

Para evaluar el funcionamiento de un sistema de abastecimiento de agua, es necesario considerar varios factores clave. En algunos países, se han implementado estrategias nacionales que incluyen indicadores cuantitativos para medir la calidad del servicio a nivel nacional, regional y comunitario. Estos

indicadores incluyen: calidad, que evalúa la proporción de muestras que cumplen con los estándares de agua potable y protección de fuentes; cobertura, que mide el porcentaje de la población con acceso a un sistema de abastecimiento identificable; cantidad, que refleja el volumen promedio de agua utilizada por habitante para consumo doméstico; continuidad, que indica el porcentaje de tiempo durante el cual el servicio de agua está disponible; y costo, que representa la tarifa que los consumidores deben pagar. Estos cinco indicadores proporcionan una base para establecer objetivos y permiten comparar la eficiencia de los proveedores de agua, además de ofrecer a los consumidores una medida objetiva sobre la calidad del servicio y su impacto en la salud pública.

### **Abastecimiento de agua**

El abastecimiento del agua consiste en el suministro en forma individual o colectiva de agua, requerida para satisfacer las necesidades de las personas que integran una localidad, evitando que puedan afectarse en su salud.

Para el abastecimiento de agua, se deben realizar los siguientes procesos:

- Captación: Ir a la fuente de agua y captarla.
- Conducción: Transportar el agua hacia la vivienda.
- Tratamiento: Filtrado y desinfección del agua.
- Almacenamiento.
- Distribución: Llevar el agua a los diferentes sitios de consumo.
- Consumo: Utilizar el agua para satisfacer necesidades.

#### **2.2.1.1.2. Tipos de sistema de abastecimiento de agua**

##### **Gravedad sin planta de tratamiento**

La fuente de abastecimiento de agua puede ser subterránea: un manantial o una galería filtrante.

##### **Gravedad con planta de tratamiento**

Cuando la fuente de abastecimiento de agua por su calidad bacteriológica no constituye una fuente adecuada y por consiguiente debe ser sometida a tratamiento. Fuente superficial: río, lago, cocha.

### **Bombeo sin tratamiento**

El sistema cuenta necesariamente con un equipo de bombeo para elevar el agua hasta un reservorio y dar presión en la red, la fuente de abastecimiento puede ser un pozo, manantial, galería filtrante, ubicado en el parte baja de la población.

Cuando la fuente de abastecimiento de agua puede ser subterránea: pozos o manantiales en el que el perfil hidráulico señala la necesidad de elevación del agua.

### **Bombeo con tratamiento**

Sistemas cuya fuente se encuentra en la parte baja de la población, lo cual requiere un sistema combinado (de bombeo y planta de tratamiento).

#### **2.2.1.1.3. Fuentes de abastecimiento de agua**

##### **Aguas de lluvia**

Estas aguas son las más puras que se encuentran en la naturaleza, contienen generalmente materia amorfa en suspensión, sulfuros oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico y cloruros en solución. Desde el punto de salud pública: estas aguas son de buena calidad, si se captan o almacenan con toda precaución, para evitar su contaminación debido a materias extrañas que pueden encontrarse en las áreas de recojo (Techos) o por un almacenamiento inadecuado en el recipiente.

Las aguas de lluvia al caer recogen de la atmósfera, partículas de hollín, ácido sulfúrico, amoníaco, ácido carbónico y otros gases, al caer sobre los techos de las casas cargan polen de plantas, partículas de insectos, hojas de árboles y otros materiales orgánicos, por todo eso, al iniciarse una lluvia esperar de 2 - 3 minutos, luego proceder a usarlo.

##### **Aguas superficiales**

Se los conoce como tales a las que forman los ríos, mares, reservorios naturales, lagunas, etc. Estas aguas, aunque sean cristalinas están generalmente contaminadas siendo peligroso usarlo en el consumo, mientras no se sometan a un tratamiento adecuado. Las aguas superficiales al discurrir

sobre terrenos de cultivo. Recogen cantidad de bacterias, igualmente al pasar por las poblaciones reciben descargas de desagües, basuras, contaminándose de esta forma el agua. El contenido de minerales, material orgánico, bacterias, algas etc., varían de acuerdo a las estaciones del año, de un día a otro y muchas veces en el mismo día.

### **Aguas subterráneas**

Son aquellas formadas por el agua que se infiltra en las capas interiores de la superficie de la tierra y que afloran como manantiales, o son captadas por medio de galerías filtrantes, pozos, etc. El agua subterránea, se encuentra generalmente, sobrecargada de sales, en cambio son de mejor calidad bacteriológica por haber sido sometida a filtración a través de las capas del terreno, las sales que lleva en solución le confieren muchas veces un sabor desagradable.

#### **2.2.1.2. Aspectos de calidad del agua**

##### **Aspectos microbiológicos**

En un plano ideal, el agua de beber no debe contener ningún microorganismo el que se sepa que es patógeno- capaz de causar enfermedad ninguna bacteria indicativa de contaminación fecal. Para cerciorarse de que un abastecimiento de agua de beber satisface estas directrices es necesario examinar periódicamente muestras de esta agua. La detección de *Escherichia coli* constituye una prueba decisiva de contaminación fecal; en la práctica, la detección de bacterias coliformes termotolerantes (fecales) constituye una alternativa aceptable (OMS, 1998).

##### **Desinfección**

La desinfección terminal es indispensable para las aguas de superficie después de su tratamiento y para los manantiales subterráneos protegidos siempre que se detecten *E. coli* o coliformes (fecales) termotolerantes. El cloro, en una forma u otra, es el desinfectante de uso más común en todo el mundo. Para la cloración terminal, debe haber un residuo de cloro libre de por lo menos 0,5 mg/litro después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos a un pH de menos de 8,0, lo mismo que para la inactivación de los virus entéricos. Cuando se usa el cloro como desinfectante en sistemas de distribución por tuberías, es

deseable mantener un residuo de cloro libre de 0,2-0,5 mg/litro en toda la instalación, para reducir el riesgo de una nueva proliferación microbiana y el riesgo para la salud de una nueva contaminación. En situaciones de emergencia, por ejemplo, en campos de refugiados, durante los brotes de enfermedades que pueden ser transmitidas por el agua, o cuando se detecta la contaminación fecal de un abastecimiento de agua, debe aumentarse la concentración de cloro libre a más de 0,5 mg/litro a lo largo de todo el sistema (OMS, 1998).

### **Aspectos químicos**

En las zonas rurales de los países en desarrollo, la gran mayoría de los problemas de calidad del agua relacionados con la salud son resultado de una contaminación bacteriológica o por otros agentes biológicos. Sin embargo, un número considerable de problemas muy graves pueden ser resultado de la contaminación química de los recursos hídricos. En las zonas rurales donde un empleo excesivo de productos agroquímicos da lugar a unas concentraciones considerables de plaguicidas en el agua pueden producirse efectos potencialmente crónicos. La presencia de nitrato y nitrito en el agua puede ser el resultado de una aplicación excesiva de fertilizantes o de la lixiviación de aguas servidas o de otros desechos orgánicos en las aguas subterráneas o de superficie. Aunque puede ser difícil detectar los efectos en las poblaciones humanas, estos contaminantes pueden representar un riesgo para la salud (OMS, 1998).

#### **2.2.1.3. Normativas de calidad de agua para consumo humano**

##### **2.2.1.3.1. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) - D.S. N° 004-2017-MINAM**

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establece los niveles máximos permitidos de sustancias químicas, físicas y biológicas en cuerpos de agua, con el fin de proteger la salud humana, la vida acuática y los usos del agua (MINAM, 2017).

#### **Categoría 1: Agua para consumo humano**

Dirigido a fuentes de agua que serán utilizadas para el abastecimiento de agua potable, ya sea de forma directa o mediante tratamiento. Se divide en dos subcategorías:

Categoría 1-A: Agua destinada a consumo humano con tratamiento convencional.

Categoría 1-B: Agua destinada a consumo humano con desinfección.

Principales parámetros establecidos:

Incluyen límites para:

- Parámetros microbiológicos: como coliformes fecales y Escherichia coli.
- Parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, turbidez, sólidos suspendidos, etc.
- Metales pesados: arsénico, plomo, mercurio, cadmio, entre otros.
- Compuestos orgánicos: pesticidas, fenoles, hidrocarburos.
- Otros contaminantes: nitratos, nitritos, detergentes, entre otros.

#### **2.2.1.3.2. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano Decreto Supremo N.° 031-2010-SA**

Establecer los criterios y parámetros de calidad que debe cumplir el agua destinada al consumo humano\*\* en todas sus etapas (captación, tratamiento, almacenamiento, distribución y consumo final), con el fin de \*\*proteger la salud de la población (MINSa, 2010).

Establece valores máximos permitidos para:

- Microorganismos patógenos (Ej. coliformes totales, E. coli).
- Parámetros fisicoquímicos (Ej. pH, turbidez, cloro residual).
- Metales pesados y contaminantes químicos (arsénico, plomo, nitratos, etc.).

### 2.2.2. Criterios para el Análisis y Evaluación de Peligros y eventos peligrosos en Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano

Figura 1 Procedimiento y Criterios para el Análisis y Evaluación de Peligros y eventos peligrosos en Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano



Fuente: (DIGESA, 2014)

Los peligros se definen como agentes físicos, biológicos, químicos o radiológicos que pueden dañar la salud pública. Los eventos peligrosos se definen como eventos que introducen peligros (o impiden su eliminación) en el sistema de abastecimiento de agua. Por ejemplo, las lluvias torrenciales (evento peligroso) pueden facilitar la introducción de microorganismos patógenos (peligro) en el agua de la fuente.

### 2.2.3. Desastres naturales

En los desastres, una de las afectaciones que causan mayor impacto en la población son los daños, pérdida de funcionalidad o el acceso restringido a los servicios de agua potable y saneamiento. En una primera fase de asistencia humanitaria, considerada crítica, es prioritario garantizar la distribución de agua segura o el acceso a ella (Arteaga y Ordóñez, 2019). La Gestión del Riesgo de Desastres está dirigida a salvaguardar la vida humana y los bienes públicos y privados. Así también está orientada a la protección de la infraestructura en Agua y Saneamiento, a minimizar los posibles riesgos que se podrían generar por diversos factores como una incorrecta planificación y mal funcionamiento de los

sistemas de agua potable para abastecer a la población y su sistema de alcantarillado (CENEPRED, 2018).

### 2.3. Definición de términos básicos

- **“Agua potable”**: Es el agua que por su calidad química, física y bacteriológica es apta y aceptable para el consumo humano y que cumple con las normas de calidad de agua. Agua apta para el consumo humano, de acuerdo con los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la normatividad vigente (CENEPRED, 2018).
- **“Análisis de la Vulnerabilidad”**: Etapa de la evaluación del riesgo, en la que se analiza los factores de exposición, fragilidad y la resiliencia en función al nivel de peligrosidad determinada, se evalúa el nivel de vulnerabilidad y se elabora el mapa del nivel de vulnerabilidad de la unidad física, social o ambiental evaluada (CENEPRED, 2018).
- **“Cálculo del Riesgo”**: Etapa de la evaluación del riesgo, en la que se determina los niveles de riesgos, se estima (cualitativa y cuantitativa) los daños o afectaciones, se elabora el mapa de zonificación del nivel de riesgos y se recomiendan medidas de control preventivo y de reducción de orden estructural y no estructural (CENEPRED, 2018).
- **“Conductividad”**: La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. La conductividad se indica en milisiemens por metro (mS/m);  $1 \text{ mS/m} = 10 \text{ } \mu\text{mhos/cm}$  y  $1 \text{ } \mu\text{S/cm} = 1 \text{ } \mu\text{mho/cm}$  y se expresa según su concentración en el agua (IDEAM,2020).
- **“Desastre”**: Conjunto de daños y pérdidas, en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica y medio ambiente, que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por acción humana (CENEPRED, 2018).

- **“Elementos Expuestos”**: Es el contexto social, económico y ambiental presentado por las personas y por los recursos, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno (CENEPRED, 2018).
- **“Punto Crítico de Control”**: Fase o tramo en el sistema de abastecimiento de agua en el que debe aplicarse un control al incumplir los límites críticos por el riesgo alto o muy alto que pudiera presentar a la inocuidad del agua para consumo humano (DIGESA, 2014).
- **“Resiliencia”**: Capacidad de las personas, familias y comunidades, entidades públicas y privadas, las actividades económicas y las estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un peligro o amenaza, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres pasados para protegerse mejor en el futuro (CENEPRED, 2018).
- **“Riesgo”**: Es la probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso en el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano (DIGESA, 2014).
- **“Sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano”**: Conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionadas por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro del agua (DIGESA, 2014).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Metodología y técnicas utilizadas

##### 3.1.1. Enfoque de la investigación

La investigación adoptó un enfoque **cuantitativo**, orientado a describir y analizar el estado de los dos sistemas de agua evaluados. Este enfoque permitió identificar y comprender el **nivel de riesgo** al que estuvieron expuestos, considerando sus condiciones operativas, estructurales y características propias. Asimismo, facilitó una interpretación integral de los factores que influyeron en su funcionamiento, aportando información relevante para la toma de decisiones y la formulación de medidas de mejora y prevención.

##### 3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, ya que los resultados obtenidos se orientaron a la solución de un problema específico, mediante el análisis de las condiciones reales de los sistemas evaluados. La información generada permitió proponer acciones prácticas y medidas de mejora destinadas a reducir riesgos y optimizar su funcionamiento, contribuyendo directamente a la gestión y toma de decisiones.

##### 3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo, debido a que se describieron de manera sistemática las condiciones de los sistemas evaluados, permitiendo caracterizar su estado actual. Esta descripción facilitó la obtención de resultados claros y ordenados, a partir de los cuales se formularon conclusiones fundamentadas sobre la situación identificada.

##### 3.1.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, con una temporalidad transversal, debido a que no se manipuló ninguna de las variables de estudio, sino que se observaron y analizaron tal como se presentaron en su contexto real. Este diseño permitió recopilar información directa y objetiva sobre las

condiciones existentes de los sistemas evaluados en un momento específico del tiempo. Asimismo, la temporalidad transversal facilitó la obtención de una visión integral del estado actual de los sistemas, optimizando los recursos y el tiempo disponible para la investigación. La elección de este diseño se justificó porque permitió describir la situación real sin alterar su funcionamiento, garantizando la validez de los datos obtenidos y proporcionando una base sólida para el análisis, la interpretación de resultados y la formulación de conclusiones orientadas a la mejora de los sistemas evaluados.

### **3.2. Población y muestra**

#### **3.2.1. Población**

El Centro Poblado Mariscal Sucre se encuentra ubicado en la región amazónica del Perú, específicamente en el departamento de Ucayali, provincia de Coronel Portillo, distrito de Yarinacocha. Sus coordenadas geográficas son  $-8.304482^\circ$  de latitud sur y  $-74.571429^\circ$  de longitud oeste. Mariscal Sucre está situado en una zona predominantemente rural, dentro de la vasta llanura amazónica, rodeada de bosques tropicales y cercanía a cuerpos de agua como ríos y quebradas, características comunes de la región. El acceso al centro poblado puede ser limitado, principalmente por vía fluvial o terrestre no asfaltada, dependiendo de la temporada y condiciones climáticas. El clima en la zona es cálido y húmedo durante todo el año, con una gran biodiversidad y una población que generalmente se dedica a actividades como la agricultura, pesca y comercio local.

Figura 2 Mapa de Ubicación del Centro Poblado Mariscal Sucre



El Centro Poblado Padre Bernardo se encuentra ubicado en la región amazónica del Perú, dentro del departamento de Ucayali, en la provincia de Coronel Portillo y el distrito de Yarinacocha. Sus coordenadas geográficas son  $-8.262831^\circ$  de latitud sur y  $-74.648915^\circ$  de longitud oeste. Padre Bernardo está situado en una zona de selva baja, caracterizada por su entorno natural de bosques tropicales, ríos y quebradas, lo que le da un paisaje verde y exuberante. Al encontrarse en la Amazonía peruana, el centro poblado cuenta con un clima cálido y húmedo durante todo el año, con abundantes precipitaciones. El centro poblado se ubica a una distancia relativamente corta del río Ucayali, lo que facilita el transporte fluvial, una de las principales vías de acceso en esta parte del país. Las actividades económicas predominantes de sus habitantes suelen ser la agricultura de subsistencia, la pesca artesanal y actividades forestales.

Figura 3 Mapa de Ubicación del Centro Poblado Padre Bernardo Mercier



### 3.2.2. Muestra

La muestra fue de tipo no probabilística, debido a que su selección se realizó bajo el criterio técnico del investigador, en concordancia con la metodología establecida por DIGESA (2014). Este enfoque permitió evaluar de manera dirigida la calidad del sistema de abastecimiento de agua, priorizando puntos representativos y relevantes para el estudio. Asimismo, se consideró la evaluación de los Puntos Críticos Operacionales (PCO) en el 5 % de las viviendas abastecidas por el sistema de agua, lo que garantizó una revisión focalizada y técnicamente sustentada. La elección de este tipo de muestra se justificó porque permitió obtener información pertinente y confiable sobre el

estado del sistema, optimizando los recursos disponibles y asegurando la coherencia con los lineamientos técnicos nacionales aplicables a la evaluación de sistemas de abastecimiento de agua.

Tabla 1 Numero de Muestras según centro poblado

Centro poblado	Número de Viviendas	Numero de muestras
Padre Bernardo Mercier	65	4
Mariscal Sucre	44	3

### **3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.2.3.1. Técnica de recolección de datos**

##### **Observación directa e inspección sanitaria del sistema**

Se realizó una inspección técnica de los componentes del sistema (captación, conducción, almacenamiento, distribución y consumo), identificando peligros, eventos peligrosos y condiciones operativas.

##### **Aplicación de listas de verificación (checklist) para evaluación de riesgos**

Se aplicaron listas de verificación basadas en la metodología DIGESA para registrar peligros (físicos, químicos y microbiológicos) y estimar probabilidad, gravedad y nivel de riesgo.

##### **Muestreo de agua para análisis físico-químico y microbiológico**

Se recolectaron muestras en puntos representativos del sistema y en viviendas seleccionadas (5%), siguiendo protocolos de muestreo, preservación y transporte.

##### **Medición in situ de parámetros de control obligatorio (PCO)**

Se midieron en campo cloro residual libre, pH y turbidez en los puntos de consumo (viviendas) y, cuando correspondió, en puntos del sistema.

##### **Registro documental y entrevistas breves a actores clave (JASS/operadores)**

Se recopiló información sobre operación y mantenimiento, frecuencia de desinfección, incidencias, limpieza de reservorios y continuidad del servicio.

### **3.2.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Ficha de inspección sanitaria del sistema de abastecimiento (captación, conducción, reservorio, red y conexiones).
- Lista de verificación para identificación de peligros y eventos peligrosos (según DIGESA, 2014).
- Ficha de muestreo de agua (código de muestra, punto, hora, preservación, responsable y cadena de custodia).
- Guía de entrevista breve para JASS/operador (operación, mantenimiento, cloración, fallas y eventos).
- Equipos de campo: turbidímetro, pH-metro o multiparámetro, conductímetro, kit/colorímetro para cloro residual, frascos estériles y conservantes según parámetro.

### **3.2.4. Procedimiento de la investigación**

#### **3.2.4.1. Medición de parámetros de Calidad del Agua**

En base a Directiva Sanitaria para la formulación, aprobación y aplicación del Plan de Control de Calidad (PCC) por los proveedores de agua para consumo humano (DIGESA, 2014), estipula para la evaluación del sistema de abastecimiento de agua, el proveedor, es responsable de realizar una caracterización analítica inicial, consistente en: La caracterización inicial de la fuente, se hará con arreglo a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECAs) para la Categoría Poblacional y Recreacional, Sub Categorías: A1, A2 y A3, según corresponda, deberá tener en cuenta la actividad del entorno de la cuenca (poblacional, agrario, minero industrial, petrolera, etc.). El estudio de caracterización inicial del agua para consumo humano se realizará para los parámetros microbiológicos y parasitológicos (Anexo I); físico-químicos (de calidad organoléptica del Anexo II, inorgánicos del Anexo III), para determinar el cumplimiento de los valores de LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, aprobado por Decreto Supremo N° 031-2010-SA.

Tabla 2 Parámetros y métodos de referencia de análisis

Parámetros	Método de Referencia
Fecal Coliform (44.5±0.2°C)	SMEWW 9221E/9221C 24th.Ed. 2023 Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure
Heterotropic Bacteria (35 ± 0.5°C)	SMEWW 9215A/ 9215B, 24th.Ed. 2023 Heterotrophic Plate Count Pour Plate Method
Total Coliform (35±0.5°C)	SMEWW 9221B/ 9221C, 24th.Ed. 2023 Standard Total Coliform Fermentation Technique
Escherichia coli (44.5 ± 0.2°C)	SMEWW 9221 F/ 9221C 24th.Ed. 2023 Escherichia coli Procedure using Fluorogenic Substrate
ALGAE; LARVAE OR FREE LIFE ORGANISMS (LIVING ORGANISMS)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 C.1,2, F.2. a, c.1, 24rd Edition / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 G, 24rd Edition, 2023
Phytoplankton (Algae) + Zooplankton (Protozoa, rotiferous, copepods and nematodes)	Plankton. Concentration Techniques. Phytoplankton Counting Techniques / Plankton. Zooplankton. Counting Techniques.
HELMINTH EGGS	Modified Bailenger Method Validated Analysis of Wastewater for Use in Agriculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. Rachel M. Ayres & D. Duncan Mara. World Health Organization. 1996.
PARASITES AND PROTOZOARIES	Modified Bailenger Method Validated Analysis of Wastewater for Use in Agriculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. Rachel M. Ayres & D. Duncan Mara. World Health Organization. 1996.
Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN- C, E, 24th Ed. 2023 Cyanide.Total Cyanide after Distillation.Colorimetric Method

---

Cloruro	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Cl - B, 24th Ed. 2023 Chloride. Argentometric Method
Color	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 24th Ed. 2023 Color. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 24th Ed. 2023 Conductivity. Laboratory Method.
Dureza Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C, 24th Ed. 2023 Hardness. EDTA Titrimetric Method
Nitrato	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO <sub>3</sub> -E, 24th Ed. 2023 Nitrogen(Nitrate).Cadmium Reduction Method
Nitrito	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO <sub>2</sub> -B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method
Sólidos Totales Disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 24th Ed. 2023 Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sulfato	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -E, 24th Ed. 2023 Sulfate. Turbidimetric Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 24th Ed. 2023 Turbidity. Nephelometric Method
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H <sup>+</sup> B, 24th Ed. 2023 pH Value. Electrometric Method

---

### **3.2.4.2. Medición de parámetros de control básico**

En base a Directiva Sanitaria para la formulación, aprobación y aplicación del Plan de Control de Calidad (PCC) por los proveedores de agua para consumo humano (DIGESA, 2014), estipula los parámetros de control obligatorio conocidos como PCO que son la turbiedad, cloro residual y Ph.

#### **3.2.4.2.1. Medición de turbiedad**

Según (IDEAM, 2018), basado en el método Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association,

American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 2130 B 23 ed., 2017 New York. Este método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar en las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbidez.

#### **3.2.4.2.2. Medición de cloro residual**

Según IDEAM (2020), basado en el APHA AWWA WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 RD edition 2017 American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Capítulo 4500- Cl- B. Método argento-métrico. Se utilizará un equipo colorimétrico regulado para medición de cloro, a la muestra se le agrega una solución de titulación de que genera una coloración rojiza, al estar con mayor intensidad el color, este indicará mayor presencia de cloro en el agua.

#### **3.2.4.2.3. Medición del Ph**

Según IDEAM (2020), en base al método Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 23ed., New York, 2017. Capítulo 4500H+. El principio de la medición electrométrica del pH es la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medición potenciométrica usando un electrodo estándar de hidrógeno y un electrodo de referencia. Debido a las dificultades para usar el electrodo de hidrógeno y al envenenamiento frecuente de este, generalmente se usa un electrodo de vidrio. La fuerza electromotriz (fem) producida en el sistema del electrodo de vidrio varía linealmente con el pH. Esta relación lineal se describe graficando las medidas de la fuerza electromotriz contra el pH de los diferentes buffers. El pH de la muestra se determina por extrapolación.

#### **3.2.4.2.4. Medición de la Conductividad**

Según IDEAM (2020), en base al método Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 23ed.,

New York, 2017. Capítulo 2510B. La conductividad de una solución se determina midiendo su resistencia eléctrica. El tipo más sencillo de celda de conductividad utilizada consta de dos electrodos similares. La tensión alterna aplicada a uno de los electrodos hace que los iones que se encuentran en la solución se muevan en dirección a dicho electrodo. El conductímetro calcula en base a la corriente medida y a la ley de Ohm la conductancia de la solución y luego, tomando en cuenta los datos de la celda, la conductividad. La conductancia de una solución se mide entre dos electrodos espacialmente fijados y químicamente inertes. En el Sistema Internacional de Unidades SI, el inverso del ohm es el siemens S y la conductividad se indica en milisiemens por metro (mS/m);  $1 \text{ mS/m} = 10 \text{ } \mu\text{hos/cm}$  y  $1 \text{ } \mu\text{S/cm} = 1 \text{ } \mu\text{mho/cm}$ .

### 3.2.4.3. Metodología de análisis de evaluación de los riesgos a la calidad del agua

En base a la Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo OMS (2009), para lograr el análisis, se identificó los peligros que puedan generar riesgos, para tal efecto se utilizó Listas de Verificación como herramientas de apoyo que faciliten esta tarea. Se debe tener en cuenta el tipo de agentes contaminantes, sustancias químicas manejadas en el tratamiento, vulnerabilidad del sistema de agua frente a posibles eventos naturales o antropogénicos, etc., así como verificar el cumplimiento de los instrumentos de gestión autorizados y aprobados por la Autoridad de Salud en el caso del agua para consumo humano y por la Autoridad Nacional del Agua en el caso de las fuentes de agua crudas. Se tomó en cuenta los componentes del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano la identificación de peligros (agentes físicos, químicos, biológicos, radiactivo y antropogénico) y peligros asociados (DIGESA, 2014).

Tabla 3 Gravedad del impacto

Efecto Puntuación	Gravedad				
	Insignificante 1	Leve 2	Moderado 3	Grave 4	Catastrófico 5
Definición	Insignificante	Suministro de agua que cumple los LMP del Reglamento.	Suministro de agua con consecuencias a corto plazo en locales, sin relación con la salud;	Suministro de agua que incumple los LMP de por lo menos un parámetro organoléptico	Suministro de agua que incumple los LMP de por lo menos un parámetro que

incumple los con desencadena  
LMP de un incumplimiento alguna  
parámetro prolongado, enfermedad.  
organoléptico. sin relación  
con la salud.

Fuente: (DIGESA, 2014)

Tabla 4 Probabilidad del evento

Efecto Puntuación Definición	Probabilidad				
	Excepcional 1	Improbable 2	Moderado 3	Probable 4	Casi siempre 5
	Una vez cada 5 años	Una vez al año	Una vez al mes	una vez a la semana	una vez al día

Tabla 5 Matriz de Riesgo - Método Semi Cuantitativo

Probabilidad de ocurrencia	Gravedad de la consecuencia				
	Efecto nulo o insignificantes Clasificación 1	Efecto en el cumplimiento leve Clasificación 2	Efecto organoléptico moderado Clasificación 3	Efecto reglamentario grave Clasificación 4	Efecto catastrófico en la salud pública Clasificación 5
	Casi siempre	5	10	15	20
Probable	4	8	12	16	20
Moderada	3	6	9	12	15
Improbable	2	4	6	8	10
Excepcional	1	2	3	4	5
Puntuación del riesgo		<6 Bajo	6-9 Medio	10-15 Alto	>15 Muy alto

### 3.3. Tratamiento de datos

Los datos obtenidos en campo y laboratorio fueron organizados inicialmente en matrices digitales, diferenciando puntos de muestreo (captación, reservorio y viviendas), fecha de toma y tipo de parámetro (físicoquímico y microbiológico). Posteriormente, los valores válidos fueron codificados y sistematizados en hojas de cálculo para su procesamiento estadístico.

Se calcularon medidas descriptivas (promedio, mínimo, máximo y desviación estándar) y se compararon los resultados con los límites establecidos en el D.S. N.º 031-2010-SA y las guías de la OMS. En el análisis de riesgo se construyó una matriz considerando probabilidad y severidad, clasificando los peligros en niveles: bajo, medio, alto y muy alto. Finalmente, los hallazgos se integraron en tablas y gráficos interpretativos, permitiendo discutir patrones,

identificar debilidades operativas y sustentar conclusiones y recomendaciones técnicas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Evaluación del riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

Tabla 6 Evaluación del riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo

Componente	Tipo de peligro	Evento peligroso / causa	Padre Bernardo				Puntos críticos
			Probabilidad	Gravedad	Riesgo	Nivel de riesgo	
Sistema de captación	Microbiológico	Infiltración de agua residual contaminada con microorganismo patógenos	5	5	25	Muy alto	11 / Alto
	Químico	Infiltración de agua residual contaminada con compuestos nitrogenado y fosforados	2	4	8	Medio	
	Físico	Electrocución al personal	1	5	5	Bajo	
		Deterioro de la Infraestructura lo que generaría detención del servicio	1	4	4	Bajo	
Sistema de tratamiento	Microbiológico	Proliferación de microorganismo patógenos	5	5	25	Muy alto	13 / Alto
		Infiltración al sistema de organismo de vida libre	5	3	15	Alto	
	Químico	No identificado	5	1	5	Bajo	
		Paso de compuestos nitrogenado y fosforados	3	2	6	Bajo	

Almacenamiento	Microbiológico	Infiltración de animales o similares que pueden contaminar el reservorio con microorganismos patógenos	4	5	20	Muy alto	12 / Alto
		Proliferación de microorganismo patógenos	3	5	15	Alto	
	Químico	Infiltración de animales o similares que pueden contaminar el reservorio con excretas que aportan compuestos nitrogenados y fosforados	3	3	9	Medio	
		Físico	Caída de operario con consecuencias graves	1	4	4	
Red de distribución	Microbiológico	Infiltración de suelos con microorganismos patógenos	3	4	12	Alto	9 / Medio
		Proliferación de microorganismo	2	4	8	Medio	
	Químico	Infiltración de suelos que contaminan el agua	3	3	9	Medio	
		Genera puntos de acumulación de sedimentos	3	3	9	Medio	
	Física	Genera obstrucción	3	2	6	Bajo	
		Perdida de presión y servicio	4	2	8	Medio	
Riesgo promedio del sistema						11 / Alto	

La Tabla 6 presenta la evaluación del riesgo asociado a los diferentes componentes del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo. En el sistema de captación, se identifica como riesgo más crítico la infiltración de aguas residuales contaminadas con microorganismos patógenos, clasificado como muy alto (25). Los riesgos de origen químico y físico presentan niveles bajos a medios, relacionados con

infiltración de compuestos nitrogenados y deterioro de infraestructura. El riesgo promedio del componente es alto (11). En el sistema de tratamiento, se observan riesgos predominantes de tipo microbiológico, especialmente la proliferación e infiltración de organismos de vida libre, alcanzando niveles muy alto (25) y alto (15). Los riesgos químicos se ubican en niveles bajos, aunque se reconoce la posibilidad de paso de compuestos nitrogenados. El riesgo promedio del componente es alto (13). En el componente de almacenamiento, los eventos asociados a la infiltración de animales y la proliferación de microorganismos representan riesgos muy altos y altos, debido al potencial impacto directo sobre la calidad del agua almacenada. Los riesgos químicos se ubican en nivel medio, mientras que los físicos son bajos. El riesgo promedio del componente es alto (12). En la red de distribución, los riesgos microbiológicos y químicos alcanzan niveles medios a altos, principalmente relacionados con infiltración de suelos contaminados, proliferación de microorganismos y acumulación de sedimentos. Los riesgos físicos, como obstrucción o pérdida de presión, se clasifican entre bajo y medio. El riesgo promedio del componente se clasifica como medio (9). Finalmente, el riesgo promedio total del sistema se clasifica como alto, evidenciando que la mayor vulnerabilidad se concentra en los componentes de captación, tratamiento y almacenamiento, principalmente asociados a riesgos microbiológicos.

Tabla 7 Evaluación del riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre

Componente	Tipo de peligro	Evento peligroso / causa	Mariscal Sucre				Puntos críticos
			Probabilidad	Gravedad	Riesgo	Nivel de riesgo	
Sistema de captación	Microbiológico	Infiltración de agua residual contaminada con microorganismo patógenos	4	5	20	Muy alto	10 / Medio
		Contaminación del sistema por contaminantes	3	5	15	Alto	

		patógenos que ingresan por inundación							
	Químico	Presencia de metales como hierro y color en el agua	3	3	10	Alto			
		Infiltración de agua residual contaminada con compuestos nitrogenado y fosforados	4	3	12	Alto			
		Contaminación del sistema por contaminantes químicos	4	2	8	Medio			
	Físico	Electrocución personal	1	5	5	Bajo			
		Deterioro de la Infraestructura que generaría detención del servicio	1	3	3	Bajo			
Sistema de tratamiento	Microbiológico	Proliferación de microorganismo patógenos	5	4	20	Muy Alto	13 / Alto		
		Infiltración al sistema de organismo de vida libre	2	5	10	Alto			
	Químico	No identificado	5	2	10	Alto			
		Paso de compuestos nitrogenado y fosforados	5	2	10	Alto			
Almacenamiento	Microbiológico	Infiltración de animales o similares que pueden contaminar el reservorio con microorganismos patógenos	4	5	20	Muy alto	12 / Alto		
		Proliferación de microorganismo patógenos	5	4	20	Muy alto			
	Químico	Infiltración de animales o similares que pueden contaminar el reservorio con excretas que aportan compuestos nitrogenados y fosforados	1	4	4	Bajo			

	Físico	Caída de operario con consecuencias graves	1	5	5	Bajo	
Red de distribución	Microbiológico	Infiltración de suelos con microorganismos patógenos	3	4	12	Alto	9 / Medio
		Proliferación de microorganismo	2	4	8	Medio	
	Químico	Infiltración de suelos que contaminan el agua	3	3	9	Medio	
		Genera puntos de acumulación de sedimentos	3	3	9	Medio	
	Físico	Genera obstrucción	3	2	6	Bajo	
		Perdida de presión y servicio	4	2	8	Medio	
Riesgo promedio del sistema						11/ Alto	

La Tabla 7 presenta la evaluación del riesgo asociado a los diferentes componentes del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre. En el sistema de captación, se identifican principalmente riesgos microbiológicos y químicos. Los eventos relacionados con la infiltración de aguas residuales y la posible contaminación por inundaciones alcanzan niveles de riesgo muy alto y alto (20 y 15). Asimismo, se evidencian riesgos químicos clasificados como altos y medios, vinculados a la presencia de metales, compuestos nitrogenados y otros contaminantes. Los riesgos físicos se clasifican como bajos, asociados principalmente a accidentes laborales y deterioro de infraestructura. El riesgo promedio del componente es medio (10). En el sistema de tratamiento, los riesgos microbiológicos continúan siendo predominantes, especialmente la proliferación de microorganismos patógenos, con niveles muy altos (20). Los riesgos químicos se ubican en categoría Alto, vinculados al posible paso de compuestos nitrogenados hacia el agua tratada. El riesgo promedio del componente se clasifica como alto (13). En el componente de almacenamiento, los riesgos microbiológicos representan los eventos más críticos, asociados a la infiltración de animales y proliferación de microorganismos dentro del reservorio, ambos clasificados como muy altos (20). Los riesgos químicos y físicos se presentan en niveles bajos, debido a eventos menos probables y con menor impacto. El riesgo promedio del componente es

alto (12). En la red de distribución, los riesgos microbiológicos y químicos presentan valores entre medios y altos, relacionados con la infiltración de suelos contaminados, proliferación de microorganismos y acumulación de sedimentos. Los riesgos físicos, como obstrucciones o pérdida de presión, se clasifican entre bajo y medio. El riesgo promedio del componente es medio (9). Finalmente, el riesgo promedio total del sistema se clasifica como alto (11), evidenciando que los mayores niveles de vulnerabilidad se concentran en las etapas de captación, tratamiento y almacenamiento, principalmente por riesgos de naturaleza microbiológica y, en menor medida, química.

La evaluación del riesgo realizada para los sistemas de abastecimiento subterráneo de Padre Bernardo y Mariscal Sucre evidencia que el riesgo promedio total es alto en ambos casos (11 puntos, respectivamente), lo que indica una vulnerabilidad significativa de los sistemas frente a la contaminación microbiológica y, en menor medida, química. Este hallazgo es coherente con lo señalado por la OMS (1998), que reconoce que, en contextos rurales de países en desarrollo, los principales problemas de calidad del agua con impacto en salud están asociados a la contaminación microbiológica más que a los parámetros químicos, particularmente cuando los sistemas carecen de una gestión integral del riesgo y de una desinfección adecuada (OMS, 1998; DIGESA, 2014).

En ambos centros poblados, la captación se configura como un componente crítico. En Padre Bernardo, la infiltración de aguas residuales con microorganismos patógenos alcanza un riesgo muy alto (25), mientras que en Mariscal Sucre se combinan la infiltración de aguas residuales y la contaminación por inundaciones (20 y 15). Estos resultados son consistentes con tus propios antecedentes, donde diversos autores demostraron que la proximidad de fuentes de contaminación (letrinas, aguas residuales, áreas agrícolas) a los pozos incrementa el riesgo de exposición a coliformes, arsénico, manganeso y otros contaminantes (Giao y Thi, 2023; Islam y otros, 2023; Chakraborty y otros, 2022). Además, el hecho de que en Mariscal Sucre la captación muestre también riesgos químicos altos por presencia de hierro, color y compuestos nitrogenados concuerda con lo descrito por Rahman y otros (2021), Ullah y otros (2022) y

Adimalla (2019), quienes señalan que los acuíferos sometidos a presión antrópica tienden a presentar simultáneamente problemas microbiológicos y químicos.

En el sistema de tratamiento, ambos centros registran un riesgo promedio alto (13), dominado por peligros microbiológicos como la proliferación de microorganismos patógenos y la infiltración de organismos de vida libre. Ello sugiere deficiencias en la desinfección y/o protección de las unidades de tratamiento, situación coherente con los hallazgos de Guimarães (2022) en la JASS San Isidro, donde la combinación de cloro residual deficiente y presencia de coliformes totales y termotolerantes hizo que el agua no fuese apta para consumo. De manera similar, estudios recientes en comunidades rurales del Perú han reportado niveles de contaminación microbiológica asociados a cloración intermitente, deficiencias en la operación de los sistemas y ausencia de una gestión sistemática del riesgo (Quispe y otros, 2020; Gonzales Saenz y otros, 2023).

La etapa de almacenamiento también presenta riesgos muy altos en ambos sistemas (riesgo promedio 12), principalmente por la infiltración de animales al reservorio y la subsecuente proliferación de microorganismos. Este patrón coincide con lo descrito en los Planes de Seguridad del Agua de la OMS, que identifican los tanques y reservorios sin adecuada protección física ni limpieza periódica como fuentes frecuentes de recontaminación del agua ya tratada (WHO, 2021; WHO, 2023). La identificación de estos eventos peligrosos en tu matriz respalda la necesidad de considerar el almacenamiento como punto crítico de control (PCC), tal como lo proponen Pérez y otros (2018) en contextos urbanos, y extrapolar este enfoque a los pequeños sistemas rurales administrados por JASS.

En cuanto a la red de distribución, ambos sistemas muestran un riesgo promedio medio (9), con eventos relacionados con infiltración de suelos contaminados, proliferación de microorganismos y acumulación de sedimentos, además de obstrucciones y pérdida de presión. Aunque el riesgo categorizado es “medio”, la literatura reciente demuestra que, en sistemas rurales y

periurbanos, la recontaminación en la red y el punto de uso contribuye significativamente al deterioro de la calidad microbiológica del agua. Por ejemplo, Larson y otros (2023) identificaron en Cajamarca, Perú, que factores estructurales y prácticas domésticas se asociaban con la presencia de coliformes termotolerantes y bacterias resistentes a antibióticos en el agua de consumo en hogares con niños menores de cinco años. Asimismo, Ferro y otros (2024) reportaron en comunidades periurbanas del Perú que la contaminación fecal y la resistencia antimicrobiana eran frecuentes en el agua de bebida, incluso cuando las fuentes se consideraban “mejoradas”, resaltando la fragilidad de la etapa de distribución y manejo intradomiciliario.

Los resultados de la evaluación de riesgos también se alinean con la evidencia reciente sobre sistemas rurales de agua y enfoque de Planes de Seguridad del Agua (PSA). Ramos-Parra y otros (2025), en comunidades rurales de Boyacá (Colombia), identificaron que más del 80 % de los acueductos rurales entregaban agua no segura para consumo, y que la mayoría de los eventos peligrosos se concentraba en la captación y el tratamiento, muy similar a lo observado en Mariscal Sucre y Padre Bernardo.

#### 4.2. Identificación de los peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

Tabla 8 Peligros al que están expuesto los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo

Componente	Tipo de peligro	Evento peligroso causa / Descripción del escenario	Padre Bernardo	Mariscal Sucre	
Sistema de captación	Microbiológico	Existencia de sistemas sanitarios cercanos	Infiltración de agua residual contaminada con microorganismo patógenos	x	x
		Sistema expuesto a inundaciones	Contaminación del sistema por contaminantes patógenos que ingresan por inundación		x
		Captación en suelos inundables y arcillosos	Presencia de metales como hierro y color en el agua		x
	Químico	Existencia de sistemas sanitarios cercanos	Infiltración de agua residual contaminada con compuestos nitrogenado y fosforados	x	x
		Sistema expuesto a inundaciones	Contaminación del sistema por contaminantes químicos		x
		Sistema eléctrico expuesto	Electrocución al personal	x	x
	Físico	Sistema expuesto a inundaciones	Deterioro de la Infraestructura lo que generaría detención del servicio		x
Sistema de tratamiento	Microbiológico	No se clora	Proliferación de microorganismo patógenos	x	x
		No se filtra	Infiltración al sistema de organismo de vida libre	x	x
	Químico	No se clora	No identificado	x	x
		No se filtra	Paso de compuestos	x	x

				nitrogenado y fosforados		
Almacenamiento	Físico	No identificado		No identificado	x	x
	Microbiológico	Tapa del tanque abierta o mal colocadas		Infiltración de animales o similares que pueden contaminar el reservorio con microorganismos patógenos	x	x
		Sin limpieza en el último año		Proliferación de microorganismo patógenos		x
	Químico	Tapa del tanque abierta o mal colocadas		Infiltración de animales o similares que pueden contaminar el reservorio con excretas que aportan compuestos nitrogenados y fosforados	x	x
Físico		Escalera en deterioro		Caída de operario con consecuencias graves	x	x
Red de distribución	Microbiológico	Ruptura de tubería		Infiltración de suelos con microorganismos patógenos	x	x
		Zonas de curva o pandeo		Proliferación de microorganismo	x	x
	Químico	Ruptura de tubería		Infiltración de suelos que contaminan el agua	x	x
		Zonas de curva o pandeo		Genera puntos de acumulación de sedimentos	x	x
	Física	Zonas de curva o pandeo		Genera obstrucción	x	x
		Ruptura de tubería		Perdida de presión y servicio	x	x

La Tabla 8 presenta los principales peligros a los que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterráneo del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, considerando sus componentes de captación, tratamiento, almacenamiento y red de distribución. Desde el punto de vista microbiológico, ambos sistemas muestran alto riesgo por la proximidad de sistemas sanitarios, lo que favorece la infiltración de aguas residuales contaminadas; además, la ausencia de cloración y filtración durante el tratamiento incrementa la

proliferación de microorganismos patógenos y organismos de vida libre. En el almacenamiento, tapas abiertas o mal colocadas y la falta de limpieza generan condiciones propicias para la contaminación del reservorio. Finalmente, en la red de distribución, rupturas de tuberías y zonas de pandeo favorecen la infiltración y proliferación de patógenos. En cuanto a los peligros químicos, la captación en suelos inundables y arcillosos principalmente en Mariscal Sucre puede incorporar metales como hierro y generar cambios de cloración del agua. La presencia de sistemas sanitarios cercanos y eventos de inundación facilita la entrada de compuestos nitrogenados y fosforados. En el tratamiento, la falta de cloración y filtración permite el paso de estos compuestos; mientras que, en la red de distribución, las rupturas y zonas de acumulación de sedimentos contribuyen a la degradación química del agua. Respecto a los peligros físicos, se identifican riesgos directos para el sistema y para el personal: sistemas eléctricos expuestos en captación, infraestructura susceptible a daños por inundaciones, deterioro de escaleras en almacenamiento y fallas en la red de distribución que generan obstrucciones, pérdida de presión y suspensión del servicio. Estos eventos comprometen la continuidad del suministro y la seguridad operativa.

En el sistema de captación, se observa la proximidad de sistemas sanitarios y la exposición a eventos de inundación, lo cual favorece la infiltración de aguas residuales con microorganismos patógenos y compuestos nitrogenados y fosforados. Estudios reportan que la cercanía de letrinas, áreas agrícolas y descargas de aguas residuales aumenta la contaminación microbiológica y química de las aguas subterráneas, exponiendo especialmente a niños y poblaciones rurales (Giao y Thi, 2023; Islam et al., 2023; Chakraborty et al., 2022). Estudios recientes en comunidades peruanas confirman esta problemática, señalando que aun los sistemas considerados “mejorados” pueden contaminarse cuando las captaciones carecen de protección adecuada (Larson et al., 2023). Estudios recientes confirman que el nitrato en acuíferos rurales sigue siendo un problema creciente, asociado a riesgos no cancerígenos y potenciales efectos crónicos (Mamun et al., 2025).

En el sistema de tratamiento, revela un problema crítico, el cual no se realiza cloración ni filtración. Esta ausencia de tratamiento facilita la proliferación de microorganismos patógenos, la presencia de organismos de vida libre y el paso de compuestos nitrogenados. Casos similares se reportan en investigaciones, donde la cloración intermitente o inexistente se asocia a incumplimientos crónicos de coliformes y *E. coli* (Guimarães, 2022; Gonzales Saenz et al., 2023). En consecuencia, la ausencia de tratamiento convierte al sistema en una “línea abierta” para el ingreso y permanencia de contaminantes.

La etapa de almacenamiento también representa un punto de alto riesgo. La presencia de tapas abiertas o mal colocadas, junto con la falta de limpieza del reservorio, genera condiciones que favorecen la infiltración de animales y la contaminación por excretas, aportando microorganismos y compuestos nitrogenados. La falta de programas de limpieza y desinfección periódica incrementa el riesgo de formación de biopelículas y sedimentos, lo que compromete la calidad del agua incluso cuando esta haya sido inicialmente segura (Pérez et al., 2018).

En la red de distribución, los principales peligros se asocian a rupturas de tuberías y zonas de pandeo. Estas condiciones facilitan la infiltración de suelos contaminados, la acumulación de sedimentos y la proliferación de microorganismos. Investigaciones recientes muestran que la formación de biofilm en tuberías deteriora la calidad microbiológica y puede favorecer la presencia de patógenos oportunistas y resistencia antimicrobiana (Kaur y Kaur , 2020). En zonas rurales, donde las reparaciones son tardías y no existen presiones constantes, estos riesgos se amplifican.

### 4.3. Evaluación de la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

#### 4.3.1. Evaluación de la calidad microbiológica del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

Tabla 9 Evaluación de la calidad microbiológica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre

Código de Punto de Muestreo:		AM04-3009		ECA –AGUA / D.S.° 003-2017-MINAM		
Descripción del Punto de Muestreo:		Pozo Tubular		Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
Tipo de Muestra:		Agua Subterránea		A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección		A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Coordenadas del Punto de Muestreo:		E:0547198 N:9082159				
Parámetros microbiológicos						
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados			
Coliformes Fecales (44.5±0.2°C)	NMP/100mL	1,8	<1,80	<1,80	20	2000
Bacteria Heterótrofas (35 ± 0.5°C)	UFC/mL	1	9400	500	N.A.	N.A.
Coliformes Totales (35±0.5°C)	NMP/100mL	1,8	<1,80	<1,80	50	N.A.
Total de Organismos de vida libre	Organismo/L	1	<1	0	0	<5x10 <sup>6</sup>
Huevos de Helminos	Huevos/L	1	<1	0	0	N.A.
Larvas de Helminos	Organismo/L	1	<1	0	0	N.A.
E. Coli	NMP/100mL	1,8	<1,80	<1,80	0	N.A.
<b>Cumplimiento</b>				<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

En la tabla 9 se muestra los resultados de la evaluación microbiológica del pozo tubular del sistema de abastecimiento del Centro Poblado Mariscal Sucre, de las cuales se evidenciaron que los parámetros Coliformes Totales, Coliformes Fecales y Escherichia coli se encontraron por debajo del límite de cuantificación (<1,8 NMP/100 mL), cumpliendo con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Asimismo, no se detectó la presencia de huevos ni larvas de helmintos, ni organismos de vida libre en niveles significativos. Sin embargo, se observó un valor elevado de bacterias heterótrofas (9 400 UFC/mL), superando ampliamente el límite permisible de 500 UFC/mL, lo cual indica posible crecimiento microbiológico asociado a deficiencias en desinfección, almacenamiento o condiciones del sistema. En conjunto, aunque el agua no presentó contaminación fecal directa, el incumplimiento en bacterias heterótrofas representa un riesgo sanitario potencial que requiere acciones correctivas.

Tabla 10 Evaluación de la calidad microbiológica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo

Código de Punto de Muestreo:			AP03-3009	Límites Máximos Permisibles para Agua de Consumo Humano/ D.S.N° 031-2010-SA	ECA –AGUA / D.S.° 003-2017-MINAM	
Descripción del Punto de Muestreo:			Pozo Tubular		Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	
Tipo de Muestra:			Agua Subterránea		A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Coordenadas del Punto de Muestreo:			E:0538653 N:9086619			
Parámetros microbiológicos						
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados			
Coliformes Fecales (44.5±0.2°C)	NMP/100mL	1,8	2,40	<1,80	20	2000
Bacteria Heterótrofas (35 ± 0.5°C)	UFC/mL	1	67	500	N.A.	N.A.
Coliformes Totales (35±0.5°C)	NMP/100mL	1,8	9,20	<1,80	50	N.A.
Total, de Organismos de vida libre	Organismo/L	1	<1	0	0	<5x10 <sup>6</sup>
Huevos de Helmintos	Huevos/L	1	<1	0	0	N.A.
Larvas de Helmintos	Organismo/L	1	<1	0	0	N.A.
E. Coli	NMP/100mL	1,8	<1,80	0	0	N.A.
<b>Cumplimiento</b>				<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

En la tabla 10 se muestra los resultados microbiológicos del pozo tubular del sistema de abastecimiento del Centro Poblado Padre Bernardo, de las cuales se muestran indicios de contaminación y condiciones que requieren atención. Se observó la presencia de Coliformes Fecales (2,40 NMP/100 mL) y Coliformes Totales (9,20 NMP/100 mL), superando el límite permitido por el D.S. N.º 031-2010-SA, lo cual sugiere posible intrusión de materia orgánica o fallas en la protección sanitaria del sistema. En contraste, Escherichia coli no fue detectada (<1,8 NMP/100 mL) y las bacterias heterótrofas presentaron un valor bajo (67 UFC/mL), dentro del rango aceptable. Asimismo, no se registró presencia de helmintos ni organismos de vida libre. En conjunto, estos resultados evidencian que, aunque no se detectó contaminación fecal directa por E. coli, la presencia de coliformes indica vulnerabilidad sanitaria del sistema y la necesidad de fortalecer la desinfección y las medidas de protección del pozo.

La evaluación de la calidad microbiológica de los sistemas subterráneos de Mariscal Sucre y Padre Bernardo muestra un patrón de vulnerabilidad que se asemeja a lo descrito en diversos estudios de sistemas de abastecimiento rurales y urbanos. En Mariscal Sucre, la ausencia de Coliformes Totales, Coliformes Fecales y E. coli por debajo del límite de cuantificación, junto con la ausencia de helmintos, indica que la fuente subterránea y la protección inmediata del pozo son relativamente adecuadas; sin embargo, el recuento muy elevado de

bacterias heterótrofas (9 400 UFC/mL) sugiere un crecimiento microbiano asociado a falta de desinfección continua, presencia de biofilm o deficiencias en almacenamiento y red, situación similar a la reportada por Guimarães (2022) en la JASS San Isidro en Pucallpa, donde la baja concentración de cloro residual y la presencia de coliformes evidenciaron un tratamiento deficiente del agua. En Padre Bernardo, la detección de Coliformes Totales y Fecales por encima del límite, aun sin presencia de *E. coli*, refleja intrusión de contaminación orgánica por fallas en la protección sanitaria del pozo o infiltraciones en la red, lo que guarda relación con lo encontrado por Reyna Garrido (2021) en el monitoreo de la calidad del agua de la ciudad de Pucallpa, donde se evidenciaron incumplimientos microbiológicos vinculados a deficiencias en la operación y mantenimiento de los sistemas de distribución. De forma comparable, Gonzales Saenz et al. (2023) reportaron en seis comunidades rurales de Huancavelica altas proporciones de muestras con coliformes y *E. coli*, atribuyendo esta situación a la falta de cloración efectiva y a la vulnerabilidad de las infraestructuras de captación y conducción. Mientras que Quispe-Coica et al. (2020) encontraron que en comunidades altoandinas la mayoría de las fuentes presentaba algún grado de deterioro microbiológico y parasitológico, a pesar de ser consideradas sistemas de abastecimiento mejorados. En contextos urbanos, Ferro et al. (2022) mostraron en Ilave, Puno, que la calidad microbiológica del agua variaba a lo largo del sistema de distribución, con episodios de presencia de coliformes asociados a periodos de baja presión y desinfección irregular. En conjunto, la comparación con estudios confirma que los hallazgos microbiológicos en ambos centros poblados se extienden en una problemática más amplia de los sistemas de abastecimiento de agua, donde el cumplimiento puntual de algunos parámetros no garantiza por sí solo la inocuidad del agua si no se asegura una gestión integral del riesgo a lo largo de todo el sistema.

#### 4.3.2. Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

Tabla 11 Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre

Código de Punto de Muestreo:			AM04-3009	Limites Máximos Permisibles para Agua de Consumo Humano/ D.S.N° 031-2010-SA	ECA –AGUA / D.S.° 003-2017-MINAM	
Descripción del Punto de Muestreo:			Pozo Tubular		Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	
Tipo de Muestra:			Agua Subterránea		A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Coordenadas del Punto de Muestreo:			E:0547198 N:9082159			
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados			
pH	Unidad de pH	0,01	8,38	6,5 a 8,5	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0
Conductividad	µmhos/cm	0,10	385,0	1 500	1 500	1 600
Cloro Libre Residual (Free Residual Chlorine)	mg/L	0,02	<0,02	0,5	N.A.	N.A.
Cianuro Total	mg CN-/L	0,004	<0,004	0,070	0,07	N.A.
Cloruro	mg Cl-/L	1,00	1,03	250	250	250
Color	UC	5,0	<5,0	15	15	100
Dureza Total	mg CaCO3/L	5,00	28,67	500	500	N.A.
Nitrato	mg NO3-/L	0,133	0,597	50,00	50	50
Nitrito	mg NO2-/L	0,006	0,010	3,00	3	3
Sólidos Totales Disueltos	mg STD/L	6	214	1 000	1 000	1 000
Sulfato	mg SO42-/L	1,0	1,6	2500	250	500
Turbidez	NTU	0,25	<0,25	5	5	100
Fluoruros (Fluorides)	mg/L	0,019	0,423	1,00	1,5	N.A.
Aluminio	mg/L	0,003	<0,003	0,2	0,9	5
Antimonio	mg/L	0,0010	<0,0010	0,020	0,02	0,02
Arsénico	mg/L	0,0050	<0,0050	0,010	0,01	0,01
Bario	mg/L	0,0030	0,1080	0,70	0,70	1
Berilio	mg/L	0,0010	<0,0010	N.A.	0,012	0,04
Bismuto	mg/L	0,00004	<0,00004	N.A.	N.A.	N.A.
Boro	mg/L	0,006	<0,006	1,50	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,0020	<0,0020	0,003	0,003	0,005
Calcio	mg/L	0,011	14,293	N.A.	N.A.	N.A.
Cobalto	mg/L	0,00030	<0,00030	N.A.	N.A.	N.A.
Cobre	mg/L	0,0020	<0,0167	2,00	2,00	2,00
Cromo	mg/L	0,0030	<0,0030	0,050	0,050	0,05
Estaño	mg/L	0,00012	<0,00012	N.A.	N.A.	N.A.
Estroncio	mg/L	0,0007	0,0714	N.A.	N.A.	N.A.
Fosforo	mg/L	0,055	<0,055	N.A.	N.A.	N.A.
Hierro	mg/L	0,0013	0,1076	0,30	0,3	1
Litio	mg/L	0,0004	<0,0004	N.A.	N.A.	N.A.
Magnesio	mg/L	0,004	1,828	N.A.	N.A.	N.A.
Manganeso	mg/L	0,0003	0,0465	0,4	0,4	0,4
Mercurio	mg/L	0,00010	<0,00010	0,001	0,001	0,002
Molibdeno	mg/L	0,0010	<0,0010	0,07	0,07	N.A.
Níquel	mg/L	0,0020	<0,0020	0,020	0,07	N.A.
Plata	mg/L	0,0003	<0,0003	N.A.	N.A.	N.A.
Plomo	mg/L	0,0020	<0,0020	0,010	0,01	0,05
Potasio	mg/L	0,15	1,43	N.A.	N.A.	N.A.
Selenio	mg/L	0,0030	<0,0030	0,010	0,04	0,04
Sodio	mg/L	0,022	91,039	200	N.A.	N.A.
Talio	mg/L	0,00050	<0,00050	N.A.	N.A.	N.A.
Titanio	mg/L	0,0007	<0,0007	N.A.	N.A.	N.A.
Torio	mg/L	0,0003	<0,0003	N.A.	N.A.	N.A.
Uranio	mg/L	0,0003	<0,0003	0,015	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,0080	<0,0080	N.A.	N.A.	N.A.
Zinc	mg/L	0,0060	<0,0060	3,0	3,00	5
<b>Cumplimiento</b>				<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

En la tabla 11 se muestra los resultados de la evaluación fisicoquímica del agua subterránea proveniente del pozo tubular del sistema de abastecimiento del Centro Poblado Mariscal Sucre evidenciaron, en términos generales, una adecuada calidad para consumo humano desde el punto de vista químico, cumpliendo con los valores establecidos en el D.S. N.º 031-2010-SA y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua). El valor de pH fue ligeramente alcalino (8,38), pero dentro del rango permitido para consumo humano, condición que suele estar asociada a la naturaleza geológica del acuífero y no representa un riesgo sanitario directo. Del mismo modo, la conductividad eléctrica (385  $\mu\text{mhos/cm}$ ), los sólidos disueltos totales (214 mg/L) y la dureza total (28,67 mg/L) fueron bajos, lo que indica que el agua corresponde a una mineralización ligera, característica favorable para el consumo y sin implicancias negativas para la salud ni para los equipos domésticos. En relación con los compuestos aniónicos, los valores de nitratos, nitritos, sulfatos y cloruros se ubicaron muy por debajo de los límites normativos. Este comportamiento es relevante porque sugiere que el acuífero no presenta evidencias de contaminación por aguas residuales, lixiviados de letrinas, fertilizantes agrícolas u otras fuentes antrópicas que comúnmente elevan estos parámetros. La turbidez también fue baja ( $<0,25$  NTU), lo que indica ausencia de sólidos suspendidos y una adecuada claridad del agua, situación que contribuye a la efectividad de los procesos de desinfección cuando estos se aplican correctamente. Respecto a los metales, los resultados mostraron concentraciones no detectables o muy bajas para arsénico, plomo, cadmio, mercurio y otros elementos potencialmente tóxicos. Este hallazgo resulta significativo, pues los metales pesados representan un riesgo crónico para la salud cuando se encuentran en niveles elevados. La ausencia de concentraciones relevantes confirma que el agua subterránea del sector no se encuentra influenciada por descargas industriales o procesos geológicos enriquecidos en metales, lo cual disminuye el riesgo de intoxicaciones y efectos acumulativos en la población. No obstante, se observó un aspecto crítico, la ausencia de cloro residual libre ( $<0,02$  mg/L). Este resultado evidencia que el sistema no cuenta con un proceso de desinfección continuo o que la dosificación de cloro es insuficiente para garantizar la inactivación de microorganismos a lo largo de la red de distribución. Aunque desde el punto de vista químico el agua es adecuada, la falta de cloro residual incrementa la

probabilidad de proliferación bacteriana y especialmente si existen conexiones defectuosas, almacenamiento inadecuado o interrupciones en el servicio. En síntesis, la calidad fisicoquímica del agua del pozo tubular del Centro Poblado Mariscal Sucre es favorable y no representa riesgos químicos significativos para la población. Sin embargo, la ausencia de cloración efectiva constituye un factor de riesgo sanitario que debe ser atendido prioritariamente.

Tabla 12 Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua del sistema de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo

Código de Punto de Muestreo:				AP03-3009		
Descripción del Punto de Muestreo:				Pozo Tubular		
Tipo de Muestra:				Agua Subterránea		
Coordenadas del Punto de Muestreo:				E:0538653 N:9086619		
Parámetros fisicoquímicos				ECA –AGUA / D.S.° 003-2017-MINAM		
				Límites Máximos Permisibles para Agua de Consumo Humano/ D.S.N° 031-2010-SA	Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	
					A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Parámetro de Ensayo	Unidades	L.C.M.	Resultados			
pH	Unidad de pH	0,01	7,66	6,5 a 8,5	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0
Conductividad	µmhos/cm	0,10	334,0	1 500	1 500	1 600
Cloro Libre Residual (Free Residual Chlorine)	mg/L	0,02	<0,02	0,5	N.A.	N.A.
Cianuro Total	mg CN-/L	0,004	<0,004	0,070	0,07	N.A.
Cloruro	mg Cl-/L	1,00	<1,00	250	250	250
Color	UC	5,0	<5,0	15	15	100
Dureza Total	mg CaCO3/L	5,00	74,47	500	500	N.A.
Nitrato	mg NO3-/L	0,133	0,599	50,00	50	50
Nitrito	mg NO2-/L	0,006	0,010	3,00	3	3
Sólidos Totales Disueltos	mg STD/L	6	186	1 000	1 000	1 000
Sulfato	mg SO42-/L	1,0	3,2	2500	250	500
Turbidez	NTU	0,25	0,50	5	5	100
Fluoruros (Fluorides)	mg/L	0,019	0,437	1,00	1,5	N.A.
Aluminio	mg/L	0,003	<0,003	0,2	0,9	5
Antimonio	mg/L	0,0010	<0,003	0,020	0,02	0,02
Arsénico	mg/L	0,0050	<0,0050	0,010	0,01	0,01
Bario	mg/L	0,0030	0,2175	0,70	0,70	1
Berilio	mg/L	0,0010	<0,0010	N.A.	0,012	0,04
Bismuto	mg/L	0,00004	<0,00004	N.A.	N.A.	N.A.
Boro	mg/L	0,006	<0,006	1,50	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,0020	<0,0020	0,003	0,003	0,005
Calcio	mg/L	0,011	27,94	N.A.	N.A.	N.A.
Cobalto	mg/L	0,00030	<0,00030	N.A.	N.A.	N.A.
Cobre	mg/L	0,0020	0,0450	2,00	2,00	2,00
Cromo	mg/L	0,0030	<0,0030	0,050	0,050	0,05
Estaño	mg/L	0,00012	<0,00012	N.A.	N.A.	N.A.
Estroncio	mg/L	0,0007	0,137	N.A.	N.A.	N.A.
Fosforo	mg/L	0,055	<0,055	N.A.	N.A.	N.A.
Hierro	mg/L	0,0013	0,7453	0,30	0,3	1
Litio	mg/L	0,0004	<0,0004	N.A.	N.A.	N.A.
Magnesio	mg/L	0,004	4,343	N.A.	N.A.	N.A.
Manganeso	mg/L	0,0003	0,3036	0,4	0,4	0,4
Mercurio	mg/L	0,00010	<0,00010	0,001	0,001	0,002
Molibdeno	mg/L	0,0010	<0,0010	0,07	0,07	N.A.
Níquel	mg/L	0,0020	<0,0020	0,020	0,07	N.A.
Plata	mg/L	0,0003	<0,0003	N.A.	N.A.	N.A.

Plomo	mg/L	0,0020	<0,0020	0,010	0,01	0,05
Potasio	mg/L	0,15	1,26	N.A.	N.A.	N.A.
Selenio	mg/L	0,0030	<0,0030	0,010	0,04	0,04
Sodio	mg/L	0,022	51,13	200	N.A.	N.A.
Talio	mg/L	0,00050	<0,00050	N.A.	N.A.	N.A.
Titanio	mg/L	0,0007	<0,0007	N.A.	N.A.	N.A.
Torio	mg/L	0,0003	<0,0003	N.A.	N.A.	N.A.
Uranio	mg/L	0,0003	<0,0003	0,015	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,0080	<0,0080	N.A.	N.A.	N.A.
Zinc	mg/L	0,0060	<0,0060	3,0	3,00	5
<b>Cumplimiento</b>				<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>

En la tabla 12 se muestra los resultados de la evaluación fisicoquímica del agua subterránea proveniente del pozo tubular del sistema de abastecimiento del Centro Poblado Padre Bernardo evidenciaron, en términos generales, una calidad química aceptable, aunque con ciertos parámetros que requieren especial atención. El valor de pH fue de 7,66, ubicándose dentro del rango permitido por el D.S. N.º 031-2010-SA, condición que refleja un agua ligeramente neutro-alcalina, característica frecuente en acuíferos con interacción natural con materiales carbonatados y sin implicancias directas para la salud. La conductividad eléctrica (334  $\mu$ mhos/cm), los sólidos disueltos totales (186 mg/L) y la dureza total (74,47 mg/L) indicaron que el agua presenta una mineralización baja, lo cual es favorable desde el punto de vista organoléptico y sanitario. Asimismo, los valores de nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros y turbidez se mantuvieron muy por debajo de los límites máximos permisibles, lo que sugiere ausencia de aportes significativos de aguas residuales, filtraciones superficiales o contaminación asociada a actividades agrícolas. Estos resultados reflejan un acuífero relativamente protegido y con escasa influencia de fuentes antrópicas. En relación con los metales, la mayoría de los elementos potencialmente tóxicos como arsénico, cadmio, mercurio, plomo y níquel se presentaron por debajo de los límites de detección o dentro de los valores normativos, descartándose riesgos crónicos asociados a su presencia. Este comportamiento es relevante, ya que confirma que el agua subterránea no se encuentra expuesta a descargas industriales o a condiciones geológicas que favorezcan la movilización de metales pesados. Sin embargo, se identificaron dos aspectos críticos que deben ser considerados en la gestión del sistema. En primer lugar, se registró un valor elevado de hierro (0,7453 mg/L), que supera el valor permitido por la normativa sanitaria (0,30 mg/L). Aunque el hierro no representa, en general, un riesgo directo para la salud, su presencia en concentraciones altas puede generar coloración amarillenta, sabor metálico, manchas en utensilios y, además,

favorecer el crecimiento de bacterias ferrosas en redes y reservorios, afectando la percepción de calidad del agua por parte de la población. En segundo lugar, se evidenció ausencia de cloro residual libre ( $<0,02$  mg/L), lo cual revela que el sistema carece de un proceso de desinfección continuo o presenta una dosificación insuficiente. Esta situación incrementa el riesgo de recontaminación microbiológica en la red de distribución, especialmente cuando existen puntos vulnerables, conexiones domiciliarias inadecuadas o almacenamiento intradomiciliario sin protección. En síntesis, aunque la calidad fisicoquímica del agua del pozo tubular del Centro Poblado Padre Bernardo es, en su mayoría, adecuada y no presenta riesgos químicos significativos, el exceso de hierro y la falta de cloración efectiva representan factores de riesgo que deben ser atendidos mediante la implementación de acciones correctivas orientadas al tratamiento, desinfección y control operativo del sistema.

La evaluación fisicoquímica del agua subterránea de los sistemas de Mariscal Sucre y Padre Bernardo muestra, en conjunto, un escenario químicamente favorable, pero con dos debilidades críticas, la ausencia de cloro residual libre en ambos sistemas y la concentración elevada de hierro en Padre Bernardo. En primer lugar, los parámetros generales (pH, conductividad, sólidos disueltos totales, dureza, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos) se ubicaron muy por debajo de los límites establecidos en el D.S. N.º 031-2010-SA y en el ECA para agua de la categoría 1 (consumo humano), confirmando que ambos acuíferos presentan una mineralización baja y un carácter ligeramente neutro-alcalino, condición típica de aguas subterráneas poco impactadas por actividades antrópicas. Resultados similares han sido reportados en estudios de calidad fisicoquímica de aguas subterráneas en contextos rurales de África y Asia, donde pH entre 7 y 8,5, conductividades inferiores a  $1\ 500$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  y TDS por debajo de  $500$  mg/L se asocian con aguas de buena potabilidad y baja agresividad para las redes de distribución (Okoundé y otros, 2022).

La ausencia de indicios de contaminación por nitratos y nitritos en ambos sistemas es un hallazgo especialmente relevante. Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  ( $\sim 0,6$  mg/L) y  $\text{NO}_2^-$  ( $0,01$  mg/L) se sitúan muy por debajo de los valores guía ( $50$  y  $3$  mg/L, respectivamente), lo que sugiere que, a diferencia de otros escenarios

rurales fuertemente influenciados por fertilización agrícola intensiva o infiltración de aguas residuales, los acuíferos de Mariscal Sucre y Padre Bernardo no presentan, por ahora, un problema de eutrofización ni de riesgo de metahemoglobinemia en población vulnerable. Esto contrasta con el diagnóstico global de nitratos en aguas subterráneas, donde múltiples estudios reportan excedencias frecuentes del límite de 50 mg/L en zonas agrícolas, asociadas a riesgos crónicos para la salud y a la necesidad de implementar tecnologías específicas de remoción (Abascal y otros, 2022; Al-Aizari y otros, 2023; Plavan y otros, 2025). En ese sentido, tus resultados respaldan la idea de que la principal amenaza para la calidad del agua en estos sistemas no está dada por la carga de nutrientes, sino por fallas en la gestión sanitaria y de desinfección.

Respecto a los metales, en Mariscal Sucre las concentraciones de arsénico, plomo, cadmio, mercurio y otros elementos potencialmente tóxicos se encontraron por debajo de los límites de detección o muy por debajo de los valores máximos permisibles, lo que descarta, en el corto plazo, riesgos químicos crónicos asociados a estos elementos. Este comportamiento difiere de numerosos estudios internacionales, donde la contaminación por arsénico, manganeso, níquel o cromo en aguas subterráneas representa un problema de salud pública de larga data, particularmente en acuíferos de Asia y África (Hassan y Westerhoff, 2024; Plavan y otros, 2025). En Padre Bernardo, sin embargo, el hierro alcanzó 0,7453 mg/L, superando el valor de 0,30 mg/L establecido en el D.S. N.º 031-2010-SA y el umbral estético recomendado por la OMS. Si bien el hierro no suele asociarse directamente a efectos agudos en la salud a estas concentraciones, su presencia en niveles elevados se vincula a problemas organolépticos (sabor metálico, coloración amarillenta o rojiza, manchas en ropa y sanitarios), formación de incrustaciones y, sobre todo, crecimiento de bacterias férricas en redes y reservorios, que pueden favorecer la formación de biopelículas y, en consecuencia, comprometer la calidad microbiológica del agua. Estudios recientes en Bangladesh, China y otras regiones han documentado que el hierro y el manganeso son, con frecuencia, los metales que más exceden los límites en aguas subterráneas y que, cuando se combinan con una desinfección insuficiente, incrementan el riesgo sanitario

por la proliferación de microorganismos y la movilización de otros contaminantes (Zhang, y Ren, 2025).

El punto más preocupante de la evaluación fisicoquímica es la ausencia de cloro residual libre en ambos sistemas ( $<0,02$  mg/L), muy por debajo del rango recomendado de  $0,2-0,5$  mg/L en la red de distribución y del mínimo de  $0,5$  mg/L luego de 30 minutos de contacto en el punto de salida del sistema, según la OMS y las directrices sanitarias regionales (WHO, 2023). Esta situación es coherente con los resultados microbiológicos (altas bacterias heterótrofas en Mariscal Sucre y presencia de coliformes en Padre Bernardo) y con los hallazgos de estudios locales en Pucallpa y otras comunidades rurales del Perú, donde se ha documentado que la mayoría de los sistemas administrados por JASS presenta cloración intermitente o inexistente. Informes recientes del BID y del sistema DATASS señalan que alrededor del 96 % de la población rural peruana consume agua con concentraciones de cloro residual por debajo de  $0,5$  mg/L, lo que implica un riesgo elevado de recontaminación en la red y en el punto de uso (GIZ, 2017). Por tal se aprecia que, los resultados se alinean con el diagnóstico nacional y confirman que, aun cuando la calidad química del agua subterránea es adecuada, la falta de desinfección continua constituye el eslabón más débil de la seguridad del agua en ambos centros poblados.

#### 4.4. Evaluación de los parámetros básicos con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo

##### 4.4.1. Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua de subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo

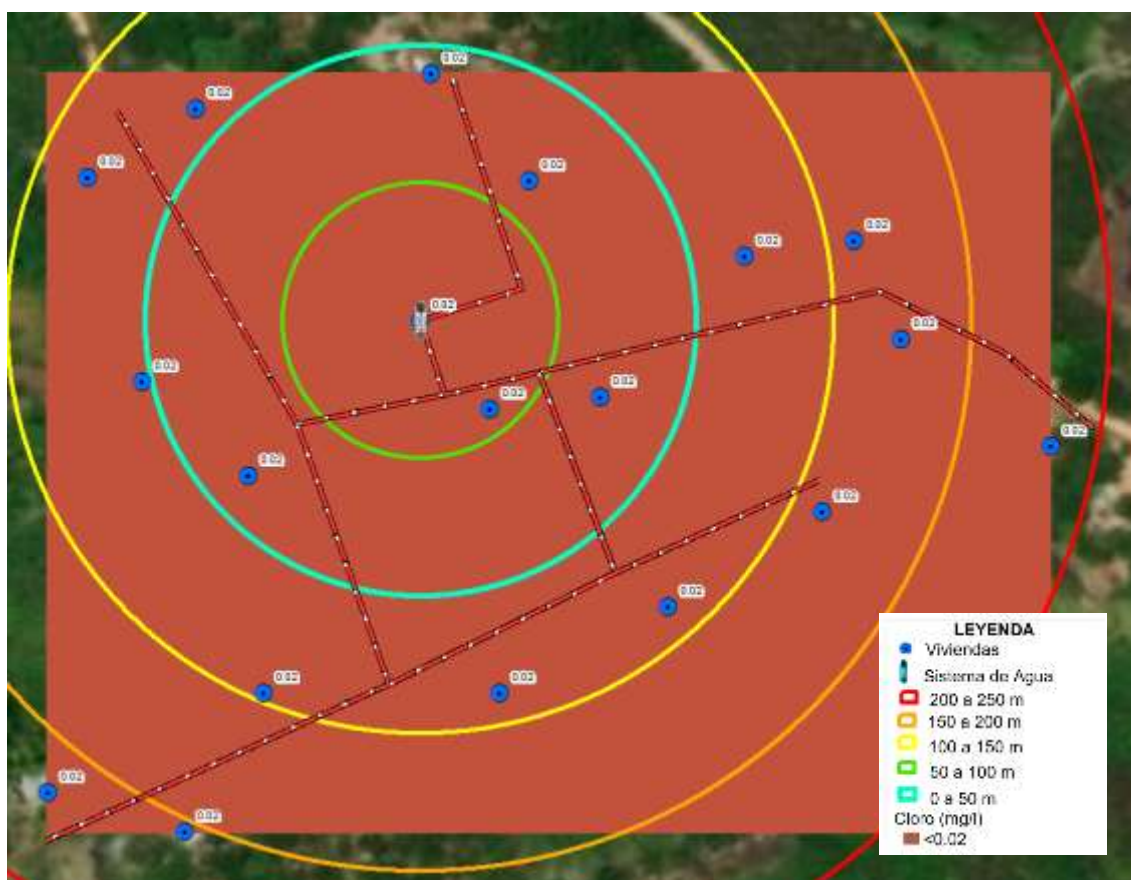
Figura 4 Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre



La figura 4 muestra la Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre. En cada punto evaluado se presenta la concentración de cloro residual, observándose valores uniformes de 0,02 mg/L en toda la red, independientemente de la distancia al punto de

captación y distribución. Al comparar estos resultados con los Límites Máximos Permisibles para agua de consumo humano establecidos por la normativa nacional, que recomiendan un cloro residual libre entre 0,5 y 1,0 mg/L en la red de distribución, se evidencia que las concentraciones registradas son considerablemente inferiores al valor mínimo requerido.

Figura 5 Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo.



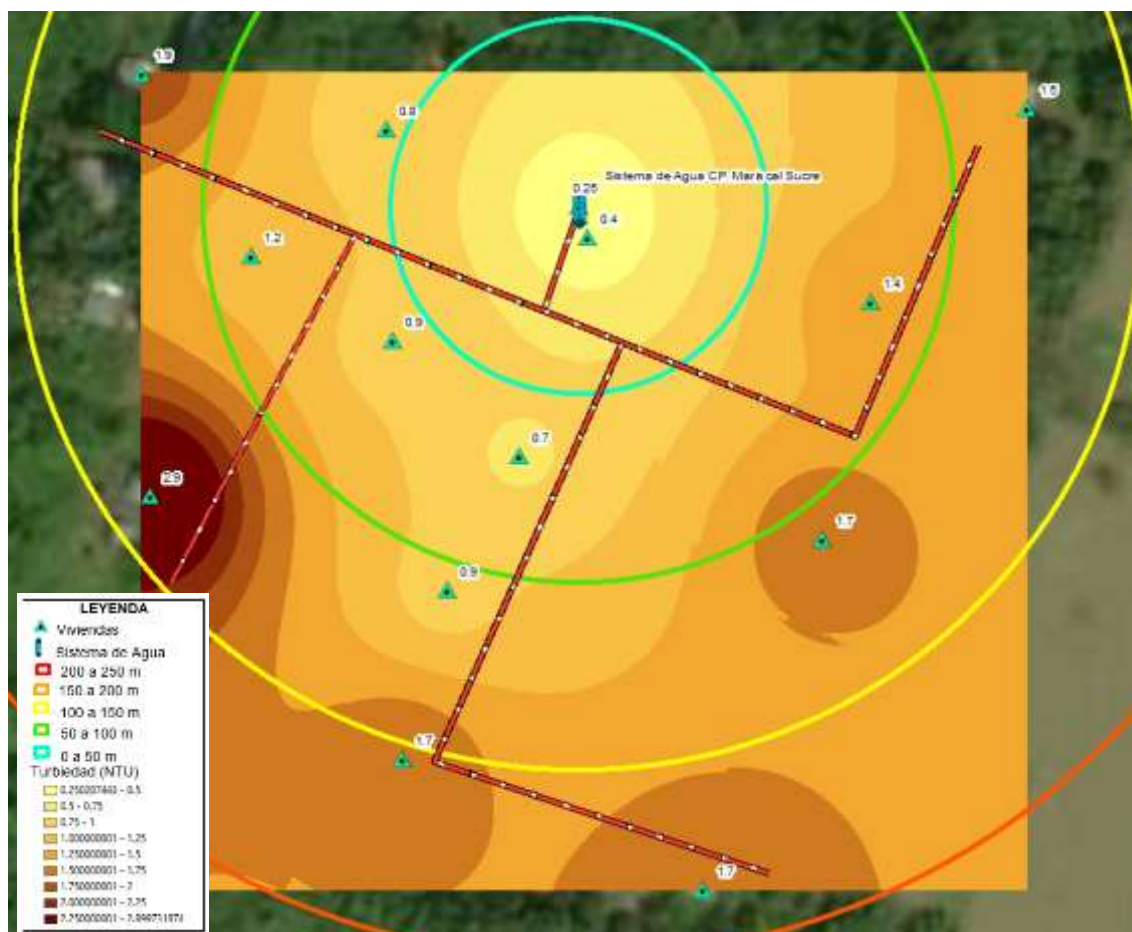
La figura 5 muestra la Evaluación de Cloro con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo. En cada punto evaluado se presenta la concentración de cloro residual, observándose valores uniformes de 0,02 mg/L en toda la red, sin variaciones en función de la distancia al punto de captación y distribución. Al comparar estos resultados con los Límites Máximos Permisibles para agua de consumo humano establecidos por la normativa nacional, que recomiendan un cloro residual libre entre 0,5 y 1,0 mg/L en la red

de distribución, se evidencia que las concentraciones registradas son considerablemente inferiores al valor mínimo requerido.

Los resultados obtenidos en Mariscal Sucre y Padre Bernardo, con concentraciones de cloro residual libre de 0,02 mg/L en todos los puntos de vivienda evaluados, muy por debajo del mínimo exigido de 0,5 mg/L por el D.S. N.º 031-2010-SA, se enmarcan en una problemática ampliamente documentada en sistemas rurales. Quispe-Coica (2020), en sistemas altoandinos del Perú, reportó valores de cloro residual libre iguales a 0 mg/L tanto en reservorios como en viviendas, contradiciendo directamente la normativa nacional y evidenciando ausencia efectiva de desinfección en redes de distribución. De manera concordante, el sistema DATASS analizado en el marco del programa SIRWASH-BID mostró que alrededor del 96 % de la población rural peruana consume agua con cloro residual menor a 0,5 mg/L, lo que sitúa los valores de 0,02 mg/L dentro del patrón crítico de subcloración generalizada en el ámbito rural (BID, 2022). Estudios específicos en JASS también confirman este escenario, Ramos Montes (2023) encontró en sistemas urbanos de centro poblado valores de cloro residual libre fuera de los parámetros normativos, evidenciando dificultades para mantener una desinfección adecuada en las redes administradas por juntas comunitarias. De forma similar, Gonzales Tito (2025), al evaluar 186 viviendas, reportó un intervalo de cloro libre residual entre 0,2015 y 0,2335 mg/L, niveles que, aunque superiores a los del estudio, siguen por debajo del 0,5 mg/L exigido, por lo que se consideran insuficientes para garantizar la seguridad microbiológica del agua distribuida.

#### 4.4.2. Evaluación de la Turbiedad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo

Figura 6 Evaluación de la Turbiedad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre.



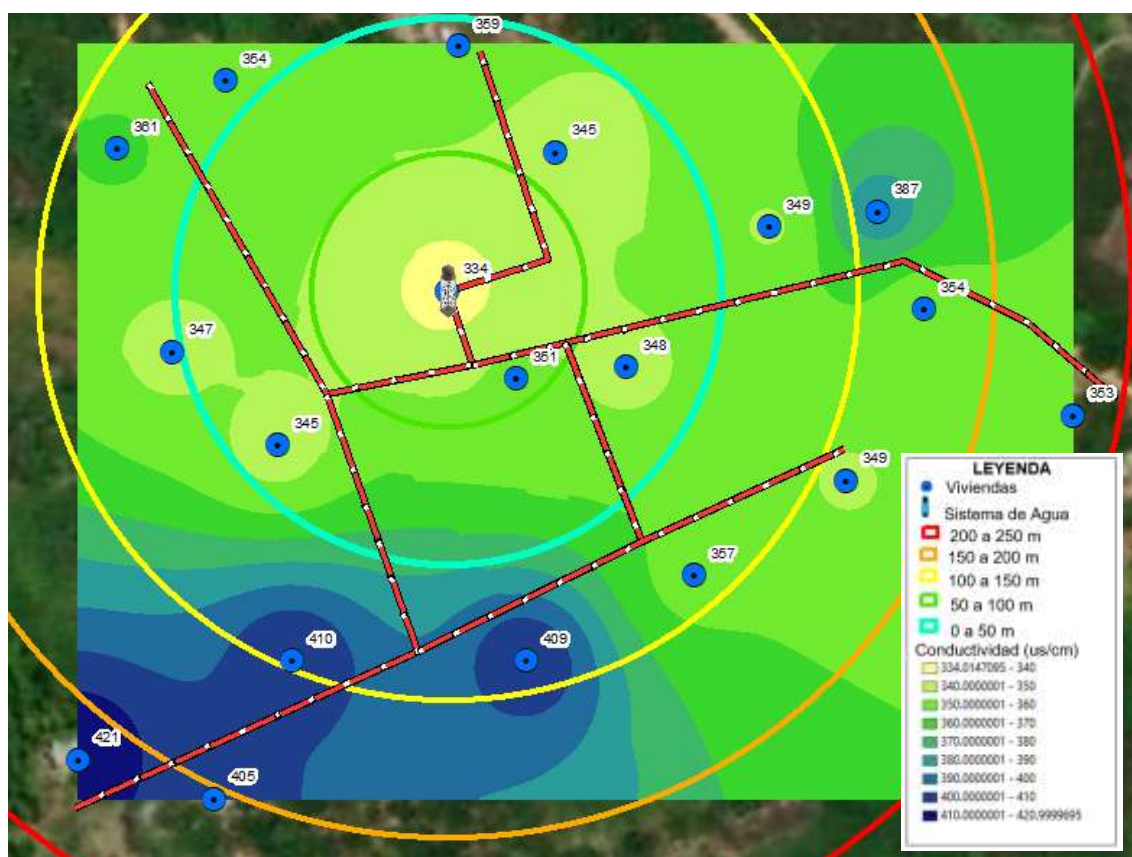
La figura 6 muestra la Evaluación de la Turbiedad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre. El punto correspondiente al sistema de abastecimiento registra una turbiedad de 0,25 NTU. En los puntos evaluados de la red se observan valores que varían entre un mínimo de 0,4 NTU y un máximo de 2,9 NTU, evidenciándose ligeras variaciones asociadas a diferentes sectores de la distribución, aunque sin incrementos bruscos hacia las zonas más alejadas.



2,9 NTU, concentrándose los valores más altos en sectores específicos de la red, aunque sin superar niveles críticos. Al contrastar estos resultados con los Límites Máximos Permisibles para agua de consumo humano establecidos en la normativa nacional (D.S. N.º 031-2010-SA), que establece un valor máximo de 5 NTU, se evidencia que todos los puntos se encuentran por debajo del límite permitido. Estos resultados indican que el agua distribuida conserva niveles de turbiedad aceptables, permitiendo una adecuada percepción visual y favoreciendo la eficacia del proceso de desinfección a lo largo del sistema de distribución.

#### 4.4.3. Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo

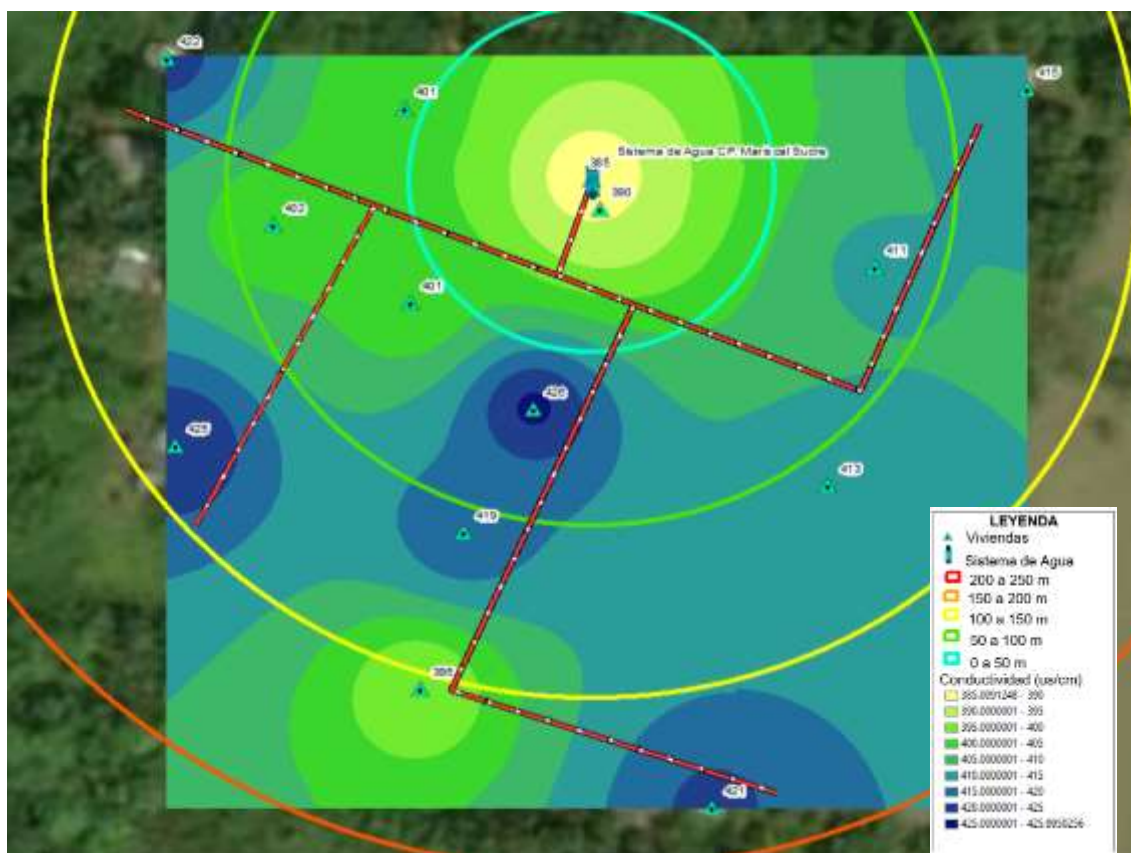
Figura 8 Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo



La figura 8 muestra la Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo

subterránea del Centro Poblado Padre Bernardo. En el punto correspondiente al sistema de abastecimiento se registra una conductividad de 334  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En los puntos evaluados de la red se observan valores que oscilan entre un mínimo de 345  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un máximo de 421  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , evidenciándose ligeras variaciones entre sectores, pero sin incrementos significativos hacia las zonas más alejadas. Al comparar estos resultados con los valores de referencia para agua destinada al consumo humano, que indican que la conductividad no debería superar aproximadamente los 1 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se observa que todos los valores registrados se encuentran muy por debajo del límite recomendado. Este comportamiento sugiere que el contenido de sales disueltas en el agua es bajo y estable dentro de la red de distribución, lo cual resulta favorable para la aceptación del agua y para la protección de las tuberías y equipos del sistema.

Figura 9 Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre



La figura 9 muestra la Evaluación de la Conductividad con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento de

agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre. En el punto correspondiente al sistema de agua se registra una conductividad de 385  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En los diferentes puntos evaluados se observan valores que fluctúan entre un mínimo de 390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un máximo de 426  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , evidenciándose variaciones moderadas a lo largo de la red, aunque sin incrementos que indiquen deterioro significativo de la calidad del agua. Al contrastar estos resultados con los valores de referencia para agua destinada al consumo humano, que establecen que la conductividad no debería superar aproximadamente los 1 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se observa que todos los puntos evaluados se encuentran muy por debajo del límite recomendado. Este comportamiento refleja un contenido relativamente bajo de sales disueltas, lo que contribuye a mantener la aceptabilidad del agua para consumo y reduce posibles riesgos de incrustaciones o corrosión en el sistema de distribución.

La evaluación de la conductividad en las viviendas abastecidas por los sistemas subterráneos de Mariscal Sucre y Padre Bernardo mostró valores entre 334 y 426  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sin incrementos significativos hacia las zonas más alejadas y muy por debajo del valor de referencia de 1 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  del D.S. N.º 031-2010-SA. Estos resultados indican un agua de baja mineralización y una red que no incorpora sales adicionales a lo largo del recorrido. Un comportamiento similar se observa en los manantiales altoandinos caracterizados por Choque-Quispe et al. (2021), donde la conductividad se mantuvo en rangos bajos a moderados y compatible con agua de buena calidad para consumo humano. En contextos amazónicos rurales, el monitoreo en el sistema de agua de la comunidad Puerto Arturo (Loreto) reportó conductividades cercanas a 1 018  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aún dentro del límite recomendado pero mayores a las encontradas en Mariscal Sucre y Padre Bernardo, lo que sugiere una mineralización algo más elevada de sus acuíferos (Colan Omar, 2019). En redes urbanas, Jeong et al. (2024) documentaron variaciones leves de conductividad (del orden de 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a lo largo de la distribución, sin superar los valores guía, patrón que coincide con la estabilidad observada en tus sistemas, donde las pequeñas fluctuaciones entre viviendas no implican deterioro de calidad (Jeong y otros, 2024). Por otro lado, Razman et al. (2022), al implementar un sistema de monitoreo en línea de calidad de agua, registraron conductividades entre 0,88 y 1,81 mS/cm (880–1 810  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),

cercanas al umbral máximo recomendado para agua potable, lo que contrasta con los niveles moderados de tus resultados y refuerza la idea de que los acuíferos de Mariscal Sucre y Padre Bernardo presentan una carga iónica relativamente baja. En conjunto, la comparación con estos estudios sugiere que, desde el punto de vista de conductividad, el agua de ambos sistemas es adecuada para consumo y que la variación espacial en la red no constituye un factor de riesgo relevante, siendo otros aspectos como la desinfección y la integridad sanitaria de la infraestructura los elementos críticos a priorizar.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se concluye que los sistemas de abastecimiento de agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo presentan riesgo sanitario Alto, esto debido a la ausencia de cloro residual y a debilidades operativas en los sistemas, estas condiciones favorecen la recontaminación en red y aumentan la probabilidad de afectaciones a la salud, especialmente en viviendas más alejadas y con almacenamiento inadecuado.
- Se identificaron peligros microbiológicos, físicos y químicos asociados a la ubicación de pozos, inundaciones, presencia de palizadas, ingreso de escorrentías, conexiones vulnerables y deficiencias de operación y mantenimiento, los mayores riesgos provienen de la falta de desinfección continua, posibles infiltraciones y prácticas inadecuadas en la manipulación del agua, lo que incrementa la exposición de la población.
- Los resultados muestran que las aguas subterráneas tienen baja mineralización y ausencia de contaminantes químicos críticos; sin embargo, la falta de cloro residual y la presencia eventual de indicadores microbiológicos comprometen la seguridad sanitaria del agua distribuida, esto confirma que el principal problema no es la fuente, sino la desinfección insuficiente y el control operativo deficiente.
- Los parámetros básicos como: el cloro residual, la turbiedad, la conductividad no mostraron incrementos significativos respecto a la distancia de las viviendas, no obstante, se evidenció que la falta de cloro residual es constante en toda la red.

#### 5.2. Recomendaciones

- Implementar un Plan de Seguridad del Agua (PSA) que incluya cloración continua, monitoreo del cloro residual en red, registros operativos diarios y protocolos de respuesta ante fallas, priorizando capacitación de operadores y supervisión municipal/sector salud.

- Controlar y reducir los peligros identificados mediante, protección perimétrica de pozos, drenajes para evitar inundaciones, sellado de tapas, control de escorrentías, mantenimiento periódico, y prohibición de actividades contaminantes en el entorno inmediato del sistema.
- Fortalecer la desinfección y vigilancia sanitaria, instalando dosificadores confiables, verificar cloro residual (0,2–0,5 mg/L en red), realizar inspecciones microbiológicas periódicas y capacitar a las JASS en dosificación, limpieza de reservorios y manejo seguro del cloro.
- Asegurar calidad estable en toda la red, implementando puntos fijos de control por tramos, purgas programadas, mantenimiento de tuberías y conexiones domiciliarias, además de educación sanitaria para el correcto almacenamiento del agua en viviendas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abascal E. , L. Gómez-Coma, I. Ortiz, A. Ortiz. (2022). Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies. *Science of The Total Environment*, 810, 152233. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152233>
- Adimalla, N. (2019). Controlling factors and mechanism of groundwater quality variation in semiarid region of South India: an approach of water quality index (WQI) and health risk assessment (HRA). *Environmental Geochemistry and Health*, 42, 1725-1752. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-019-00374-8>
- Al-Aizari, H. S., Ghfar, A. A., Al-Aizari, A. R., Al-Aizari, A.-J. M., Moshab, M. S., & Sillanpää, M. (2023). Assessing Groundwater Quality and Diagnosing Nitrate Pollution in the Sidi Allal Region: A GIS-Based Approach Utilizing the Groundwater Pollution Index. *Hydrology*, 10(12), 227. doi:<https://doi.org/10.3390/hydrology10120227>
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). *Inicia monitoreo de aguas subterráneas en Pucallpa*. ucajali: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/315850-inicia-monitoreo-de-aguas-subterraneeas-en-pucallpa>
- BID. (2022). *Sistema de Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural de Perú (DATASS)* (. Lima: Cooperación Suiza. Obtenido de <https://www.cooperacionsuiza.pe/sirwash-bid-telemetry-al-servicio-del-acceso-a-agua-para-poblaciones-rurales/>
- CENEPRED. (2018). *Guía para la evaluación de riesgo en el sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario*. Lima: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Obtenido de <https://www.cenepred.gob.pe/web/transparencia/resoluciones/2018/jefaturales/RJ-050-2018-CENEPRED-J.pdf?fbclid=IwY2xjawJeWKpleHRuA2FlbQIxMAABHjOjd65zv2TCLd->

2QqRGzu8ISvT0O60DBj0at2lv9eN3roPib3FOEk1QYRyh\_aem\_GFL9j64  
ikuDmHrdaWxwNfA

Chakraborty, T., Ghosh, G., Ghosh, P., Jahan, I., Zaman, S., Islam, M., . . . Khan, A. (2022). Arsenic, iron, and manganese in groundwater and its associated human health risk assessment in the rural area of Jashore, Bangladesh. *Journal of WATER & HEALTH*, 20(6), 888-902. doi:<https://doi.org/10.2166/wh.2022.284>

Chandra Ghosh, G., Hassan Khan, M., Kumar Chakraborty, T., Zaman, S., Kabir, A., & Tanaka, H. (2020). Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Scientific Reports*, 10(5206). Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41598-020-62187-5#citeas>

Colan Omar. (2019). *diagnóstico de la calidad del agua de consumo humano de la JASS Puerto Arturo en Reque, Lambayeque*. Lambayeque: LEAP WORLD. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/400990439/Informe-Agua-Potable-Reque-2019-1?>

DIGESA. (2014). *Directiva Sanitaria para la formulacion, aprobacion y aplicacon del Plan de Control de Calidad (PCC) por los proveedores de agua para consumo humano*. Lima: Ministerio de Salud. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Directiva\\_Sanitaria\\_058-MINSA-DIGESA-PCC.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Directiva_Sanitaria_058-MINSA-DIGESA-PCC.pdf)

Ferro Pompeyo, Eli Morales, Euclides Ticona, Polan Ferró-Gonzales, Anderson Oblitas, Ana Lucia Ferró-González. (2024). Water quality and phenotypic antimicrobial resistance in isolated of E. coli from water for human consumption in Bagua, under One Health approach. *Heliyon*, 10(1), e23961. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23961>.

Gad, M., Gaagai, A., Hamdy Eid, M., Szűcs, P., Hussein, H., Elsherbiny, O., . . . Ibrahim, H. (2023). Groundwater Quality and Health Risk Assessment Using Indexing Approaches, Multivariate Statistical Analysis, Artificial Neural Networks, and GIS Techniques in El Kharga Oasis, Egypt. *Water*

*Quality and Contamination*, 15(6), 1216.  
doi:<https://doi.org/10.3390/w15061216>

Giao Nguyen, T., & Thi Hong Huynh, N. (2023). Characterization of Groundwater Quality and Human Health Risk Assessment. *Civil Engineering Journal*, 9(3), 618-628. Obtenido de <https://civilejournal.org/index.php/cej/article/view/3937>

GIZ. (2017). *MANUAL PARA LA CLORACIÓN DEL AGUA EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL ÁMBITO RURAL*. Lima: Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú. Obtenido de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf)

GONZALES TITO JOSEFA . (2025). *EFFECTIVIDAD DEL CLORO RESIDUAL EN LA DESINFECCIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE CHUCARAYA - ILAVE , 2025*. PUNO: UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS. Obtenido de [https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/1444/Josefa\\_GONZALES\\_TITO.pdf](https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/1444/Josefa_GONZALES_TITO.pdf)

Guimaraes Pérez, Luis Xavier. (2022). *Evaluación de la Calidad del agua para consumo humano en el Asentamiento Humano San Isidro, Callería-Ucayali, 2020*. Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de <https://repositorio.unu.edu.pe/items/ed3804df-1e2b-4fa6-b2e5-d65e583fb7c8>

Hassan, Z., & Westerhoff, H. V. (2024). Arsenic Contamination of Groundwater Is Determined by Complex Interactions between Various Chemical and Biological Processes. *Toxics*, 12(1), 89. doi:<https://doi.org/10.3390/toxics12010089>

Huarachi Yupanqui, Yefri Erick, & Huarachi Yupanqui, Cristian Jhamy. (2019). *Procedimientos para la Evaluación del Riesgo en el Sistema de*

*Abastecimiento de Agua Potable en el Distrito de Ciudad Nueva, Departamento de Tacna.* Tacna: Universidad Privada de Tacna. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/981>

IDEAM. (2018). *INSTRUCTIVO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA. SM 2130 B.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I036+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+TURBIEDAD.pdf/aa323cbe-316d-48d9-becd-643641fcd4ad?version=1.0>

IDEAM. (2020). *INSTRUCTIVO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE CLORUROS 4500-CI- B MÉTODO ARGENTOMETRICO.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I058+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DE+CLORUROS+4500-CI-B+M%C3%89TODO+ARGENTOMETRICO+v3.pdf/3169700a-1022-43eb-bae4-bf0320fc663f?version=1.0>

IDEAM. (2020). *INSTRUCTIVO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE pH EN AGUA POR EL MÉTODO ELECTROMÉTRICO SM. 4500-H+B.* Colombia. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I023+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+DE+PH+EN+AGUA+v3.pdf/32f5eed5-01bc-46e0-9c60-0d5959003fa3?version=1.0>

Islam Rushdi, M., Basak, R., Das, P., Ahamed, T., & Bhattacharjee, S. (2023). Assessing the health risks associated with elevated manganese and iron in groundwater in Sreemangal and Moulvibazar Sadar, Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10, 100287. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100287>

Jeong, E., Hwang, K.-Y., Lee, S., Jung, K., & Kim, H. (2024). Assessment and Variation of Water Quality in Urban Distribution Networks: From Reservoir to Faucet. *Engineering*, 69(1), 61. doi:<https://doi.org/10.3390/engproc2024069061>

- Kaur, R., & Kaur, R. (2020). Microbial Diversity and their Biofilm Formation Potential in Pipes of Water Distribution System. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 17(4), 113-117. doi:<https://doi.org/10.3233/AJW200058>
- Kazemi, A., Esmailbeigi, M., Sahebi, Z., & Ansari, A. (2022). Health risk assessment of total chromium in the qanat as historical drinking water supplying system. *Science of The Total Environment*, 802(2), 150795. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721058733>
- Larson AJ, Haver S, Hattendorf J, Salmon-Mulanovich G, Riveros M, Verastegui H, Mäusezahl D, Hartinger SM. (2023). Household-level risk factors for water contamination and antimicrobial resistance in drinking water among households with children under 5 in rural San Marcos, Cajamarca, Peru. *One Health*, 3(16), 100482. doi:<https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100482>
- Mamun, A., Alazmi, A. S., Alruwaili, M., Bhandari, S., & Sharif, H. O. (2025). Groundwater Nitrate Contamination and Age-Specific Health Risks in Semi-Urban Northeastern Areas of Saudi Arabia. *Urban Science*, 9(12), 538. doi:<https://doi.org/10.3390/urbansci9120538>
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua* DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- MINSA. (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano* Decreto Supremo N.° 031-2010-SA. Lima: Ministerio de Salud. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Okoundé Kotchikpa Jean-Eudes, Ringo Fernand Avahounlin, Carine Nelly Kéломé, Ouassa Pierre, Adjoa Mirande Hermione Adéké, Expédit Wilfried Vissin. (2022). Evaluation of the Physico-Chemical Quality and Potability

- of Groundwater Consumption in Department of Collines at Benin. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 10(1). doi:<https://doi.org/10.4236/gep.2022.101003>
- OMS. (1998). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Obtenido de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>
- OMS. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Ginebra.
- Plavan, G. I., Plavan, O., Đurin, B., Mare Roşca, O., Boufahja, F., Fetoshi, O., Crăciun, A. I., Nicoara, M. N., Strungaru, S., Pacioglu, O., & Rarinca, V. (2025). In-situ Assessment of Rural Physic-Chemical Groundwater Quality from the North-East of Romania. *Aquatic Science - Preprints*, 1. doi:<https://www.preprints.org/manuscript/202502.1971>
- Quispe-Coica, A.; Fernández, S.; Acharte Lume, L.; Pérez-Foguet, A. (2020). Status of Water Quality for Human Consumption in High-Andean Rural Communities: Discrepancies between Techniques for Identifying Trace Metals. *J*, 3(2), 162-180. doi:<https://doi.org/10.3390/j3020014>
- Rahman, M., Kumar, S., Lamb, D., & Mahmudur Rahman, M. (2021). Health Risk Assessment of Arsenic, Manganese, and Iron from Drinking Water for High School Children. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(269). Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-021-05212-1>
- Ramos Montes, Katherine Luz y Pérez Campos, David Edison. (2023). *Cloro residual libre y demanda bioquímica de oxígeno en los JASS en el área urbana del centro poblado de Pueblo Libre – Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/febab0db-961c-4f67-8a07-b00e61636436?>
- Rashid, A., Ayub, M., Ullah, Z., Ali, A., Sardar, T., Iqbal, J., . . . Khan, S. (2023). Groundwater Quality, Health Risk Assessment, and Source Distribution of Heavy Metals Contamination around Chromite Mines: Application of GIS, Sustainable Groundwater Management, Geostatistics, PCAMLR, and

PMF Receptor Model. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20(3), 2113.  
doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph20032113>

Razman NA, Wan Ismail WZ, Abd Razak MH, Ismail I, Jamaludin J. (2023). Design and analysis of water quality monitoring and filtration system for different types of water in Malaysia. *Int J Environ Sci Technol (Tehran)*, 20(4), 3789-3800. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-022-04192-x>

Reyna Garrido, Oscar Alejandro. (2021). *Monitoreo de la calidad del agua en la ciudad de Pucallpa*. Pucallpa: Universidad Nacional Federico Villareal. Obtenido de <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5166?>

Ullah, Z., Rashid, A., Ghani, J., Nawab, J., Chun Zeng, X., Shah, M., . . . Iqbal, J. (2022). Groundwater contamination through potentially harmful metals and its implications in groundwater management. *Front. Environ. Sci.*, 10. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.1021596/full>

WHO. (2023). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. World Health Organization. Obtenido de [https://wsportal.org/wp-content/uploads/2023/02/23\\_WHO\\_WSPManual2ndEd\\_A4hor\\_WR5.pdf](https://wsportal.org/wp-content/uploads/2023/02/23_WHO_WSPManual2ndEd_A4hor_WR5.pdf)  
?

Zhang, S., & Ren, B. (2025). Groundwater Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment: A Case Study of South Dongting Lake, China. *Water*, 17(21), 3036. doi:<https://doi.org/10.3390/w17213036>

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz de consistencia

### TÍTULO: Evaluación del Riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables y dimensiones	Diseño metodológico
<p><b>Problema general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el Riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el riesgo en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El riesgo es medio en la calidad del agua del sistema de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p><b>Calidad del agua</b></p> <p><b>Dimensiones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Microbiológicos</li> <li>Fisicoquímicos</li> </ul> <p><b>Variable independiente</b></p> <p>Riesgos del sistema de abastecimiento</p> <p><b>Dimensiones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Peligros</li> <li>Probabilidad</li> <li>Gravedad</li> <li>Componentes del sistema</li> </ul>	<p><b>Enfoque</b></p> <p>Cualitativa</p> <p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Descriptiva</p> <p><b>Nivel de investigación</b></p> <p>Correlacional</p> <p><b>Diseño</b></p> <p>No Experimental</p> <p><b>Temporalidad</b></p> <p>Transversal</p> <p><b>Población y muestra</b></p> <p><b>Población:</b> Sistemas de agua</p> <p><b>Muestra:</b> 2 sistemas de agua</p> <p><b>Técnicas e instrumento de recolección de datos:</b></p> <p>Protocolo de monitoreo de recursos hídricos (ANA,2019)</p> <p>Métodos estándares para el examen de aguas y aguas residuales (APHA,2017)</p> <p><b>Técnicas e instrumento de análisis y procesamiento de datos:</b></p> <p>Ficha de monitoreo de agua</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son los peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?</li> <li>¿Cuál es la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?</li> <li>¿Cuál es el efecto de los parámetros básicos con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025?</li> </ul>	<p><b>Objetivo específico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025</li> <li>Evaluar la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025</li> <li>Evaluar el efecto de los parámetros básicos con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específica</b></p> <p>Los principales peligros al que están expuestos los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025, son la redes en mal estado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La calidad del agua de los sistemas de abastecimiento subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025, no cumple las características microbiológicas del LMP para agua de consumo humano del DS.031-2010-DIGESA.</li> <li>Los parámetros básicos se ven afectados negativamente con respecto a la distancia de las viviendas que distribuyen los sistemas de abastecimiento agua subterránea del Centro Poblado Mariscal Sucre y Padre Bernardo, Ucayali 2025.</li> </ul>		

## Anexo 2: Panel fotográfico

Figura 10 Centro poblado Mariscal Sucre - Distrito de Yarinacocha



Figura 11 Centro Poblado Padre Bernardo - Distrito de Yarinacocha



Figura 12 Recolección de muestra en la vivienda MS-02- Centro Poblado Mariscal Sucre.



Figura 13 Recolección de muestra en la vivienda MS-03- Centro Poblado Mariscal Sucre.



Figura 14 Recolección de muestra en la vivienda MS-01- Centro Poblado Mariscal Sucre.



Figura 15 Análisis de cloro en la vivienda MS-03- Centro Poblado Mariscal Sucre.



Figura 16 Recolección de muestra en la vivienda PB-01- Centro Poblado Padre Bernardo



Figura 17 Recolección de muestra en la vivienda PB-02- Centro Poblado Padre Bernardo



Figura 18 Recolección de muestra en la vivienda PB-04- Centro Poblado Padre Bernardo



Figura 19 Análisis de cloro en la vivienda PB-02- Centro Poblado Padre Bernardo

