

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



EVALUACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE
AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO RUTUNA - POMABAMBA –
POMABAMBA-ANCASH, PERIODO ENERO - ABRIL 2024.

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

VASQUEZ BENDEZU, BEATRIZ MILAGROS

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 076-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 12 de julio de 2024, a horas 09:30 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EVALUACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO
RUTUNA – POMABAMBA – POMABAMBA – ANCASH, PERIODO
ENERO – ABRIL 2024”**

Presentado por la Bachiller: **BEATRIZ MILAGROS, VASQUEZ BENDEZU** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENA**”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 18 de julio de 2024


Dr. JOSE ANTONIO BLAS MATIENZO
PRESIDENTE


Ing. MSc. ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ
MIEMBRO


Blgo. MSc. CESAR AUGUSTO GOZME SULCA
MIEMBRO




Ing. MSc. ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA
ASESOR



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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 224 - 2024 - CS-RIDUNAS

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

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO RUTUNA - POMABAMBA - POMABAMBA - ANCASH, PERIODO ENERO - ABRIL 2024.	VASQUEZ BENDEZU, BEATRIZ MILAGROS	20 % Veinte

Tingo María, 30 de julio de 2024

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

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



EVALUACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE
AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO RUTUNA - POMABAMBA –
POMABAMBA-ANCASH, PERIODO ENERO – ABRIL 2024

Autor	: Vasquez Bendezu, Beatriz Milagros
Asesor(es)	: Ing. M.Sc. Alberto Franco Cerna Cueva Dr. Luis Eduardo, Oré Cierito
Programa de investigación	: Ciencia y Tecnologías Ambientales
Línea de investigación	: Tratamiento de Agua
Eje Temático	: Desarrollo de técnicas y mejoras en el tratamiento de agua.
Lugar de ejecución	: Centro Poblado Rutuna
Duración del trabajo	: 12 de enero del 2024 12 de julio del 2024
Financiamiento	: Propio
Presupuesto	: S/ 3, 052.50

Tingo María – Perú, 2024

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables.
Título de tesis : EVALUACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO RUTUNA - POMABAMBA - POMABAMBA - ANCASH, PERIODO ENERO - ABRIL 2024
Autor : Vasquez Bendezu, Beatriz Milagros
Asesor de tesis : Cerna Cueva, Alberto Franco
Escuela Profesional : Ingeniería Ambiental
Programa de investigación : Ciencias y Tecnologías Ambientales
Línea(s) de investigación : Tratamiento de Agua
Eje Temático : Desarrollo de técnicas y mejoras en el tratamiento de agua.
Lugar de ejecución : Centro Poblado Rutuna
Duración : Inicio : 12 de enero 2024
Término : 12 de julio 2024
Financiamiento : FEDU : S/0.00
Propio : S/3,052.50
Otros : S/0.00

Tingo María, Perú, Julio 2024.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Beatriz Milagros Vasquez Bendezu'.

BEATRIZ MILAGROS VASQUEZ BENDEZU
TESISTA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto Franco Cerna Cueva'.

ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA
ASESOR

DEDICATORIA

A mi madre **Virginia Bendezú**, por su amor y apoyo incondicional, quien es mi motivo para cumplir todas mis metas

A mi papá **Ernesto Victoria**, por creer en mí, por sus palabras de aliento y cariño en cada etapa de mi vida.

A mis papitos **Sergio Bendezú y Aristida Berrocal**, por su inmenso cariño, por su ejemplo a seguir y por todas sus enseñanzas.

A mi hermano **Alexis Bendezú**, quien siempre ha estado conmigo en los buenos y malos momentos y me ha impulsado a seguir adelante.

A toda mi **familia y amigos**, por haber contribuido en mi formación personal y académica.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** en primer lugar, por otorgarme la vida y las fuerzas día a día para seguir adelante. Por el cuidado y bendiciones que me brinda a mí y a mi familia en todo momento.

A la **Universidad Nacional Agraria de la Selva**, en especial a los docentes de la **Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**, por sus enseñanzas, paciencia y apoyo en mi formación como profesional.

Quiero agradecer de manera especial a mis asesores **el Ing. M.Sc. Franco Alberto Cerna Cueva** y **el Dr. Luis Eduardo Oré Cierito**, por su tiempo, motivación, apoyo y guía brindada durante la realización y presentación de esta tesis.

A los miembros del Jurado **Dr. José Antonio Blass Matienzo, Ing. MSc. Abby Solange Da Cruz Rodríguez** y **Blgo. MSc. César Augusto Gozme Sulca**, por su tiempo y orientación en la elaboración de esta tesis.

Quiero agradecer a todos los amigos que me han acompañado y apoyado a lo largo de mi vida universitaria, en especial a: **Noelia Solano, Dayra Soria, Frans Gerónimo, Rosa Espinoza, Josué Ticona, Rusel Rosales, Randy Robles, Pilar Baldeón** y **Josué Noriega**, su amistad ha sido muy valiosa para mí.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	4
2.1.3. Antecedentes locales	7
2.2. Sistema de distribución de agua potable.....	7
2.2.1. Tipología de las redes de distribución.....	8
2.2.2. Componentes de un sistema de distribución de agua.....	9
2.3. Cloración.....	10
2.3.1. Factores que intervienen en la cloración.....	10
2.3.2. Dosis de cloro.....	11
2.3.3. Mecanismo de acción del cloro.....	12
2.3.4. Cloro residual o desinfectante secundario.....	13
2.3.5. Hipoclorito de calcio	13
2.3.6. Estabilidad de las soluciones de hipoclorito de calcio	13
2.4. Decreto Legislativo N° 1280.....	14
2.5. D.S. N° 031-2010-SA	14
2.6. Medidor de Cloro Residual HI 701	15
2.6.1. Descripción.....	15
2.6.2. Descripción funcional	16
2.6.3. Principio fundamental	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Lugar de ejecución.....	17

3.1.1. Ubicación Política	17
3.1.2. Ubicación geográfica.....	17
3.1.3. Climatología	20
3.2. Materiales y métodos	20
3.2.1. Materiales y equipos.....	20
3.3. Criterios de investigación.....	20
3.3.1. Nivel de investigación.....	20
3.3.2. Tipo de investigación	20
3.3.3. Variables de investigación.....	20
3.3.4. Operacionalización de variables.....	21
3.3.5. Diseño de la investigación.....	22
3.3.6. Población y muestra	22
3.3.7. Técnicas e instrumentos de investigación	23
3.3.8. Análisis de datos.....	23
3.4. Metodología	23
3.4.1. Determinación de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable.....	23
3.4.2. Determinación de la relación del tiempo de duración de la solución de cloración en la concentración de cloro residual	25
3.4.3. Comparación de los resultados cloro residual con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Determinación de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable.....	27
4.1.1. Determinación de los puntos de muestreo de cloro residual.....	27
4.1.2. Medición de cloro residual en la red de distribución de agua potable	31
4.2. Determinación de la relación del tiempo de duración de la solución de cloración en la concentración de cloro residual.....	38

4.3. Comparación de los resultados de cloro residual con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.....	41
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	44
VII. REFERENCIAS	45
ANEXOS	50

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tipos de desinfección del agua.	10
2. Límites Máximos Permisibles de Parámetros Inorgánicos.	15
3. Especificaciones técnicas del medidor HI 701.....	16
4. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.....	18
5. Matriz de operacionalización de las variables.	21
6. Técnicas e instrumentos de investigación.....	23
7. Variables para el análisis estadístico.	26
8. Reconocimiento de la red de distribución de agua potable de Rutuna.	27
9. Clasificación de los puntos de muestreo.	30
10. Concentración promedio de cloro residual del primer mes: 18/01 – 15/02.....	31
11. Concentración promedio del cloro residual del segundo mes: 18/02 - 17/03.....	32
12. Concentración promedio de cloro residual del tercer mes: 24/03 – 21/04.....	32
13. Concentración Promedio de cloro residual.	33
14. Análisis de la Varianza ANOVA.	38
15. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la concentración promedio de cloro residual respecto al tiempo.....	38
16. Datos del muestreo de cloro residual del primer mes.	51
17. Datos del muestreo de cloro residual del segundo mes.....	53
18. Datos del muestreo de cloro residual del tercer mes.....	55
19. Descripción del estado del reservorio del Centro Poblado Rutuna.....	58
20. Descripción del estado de la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna	59

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de los tipos de redes de distribución de agua potable.....	8
2. Sistema convencional de agua por gravedad en un ámbito rural.	9
3. Relación de cloro: dosis-demanda-residual.	11
4. Curva de la demanda de cloro en el agua.....	12
5. Componentes del Equipo HI 701.....	16
6. Ubicación política del distrito de Pomabamba.....	17
7. Ubicación de los puntos muestreados.	19
8. Diseño de la investigación.	22
9. Medición del cloro residual con el medidor HI 701.	25
10. Concentración promedio de cloro residual en el reservorio.....	34
11. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 1.	35
12. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 2.	35
13. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 3.	36
14. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 4.	37
15. Límite Máximo Permisible para el cloro residual promedio del reservorio.	41
16. Límite Máximo Permisible para el cloro residual promedio de la red de distribución. ..	42
17. Concentración de cloro residual del primer mes de muestreo.	52
18. Concentración de cloro residual del segundo mes de muestreo.....	54
19. Concentración de cloro residual del tercer mes de muestreo.	56
20. Concentración promedio de cloro residual de los 4 ramales de la red de distribución. ..	57
21. Cumplimiento de la normativa respecto al cloro residual.....	57
22. Recorrido de identificación de la zona de estudio.	60
23. Identificación de las tomas domiciliarias.....	60
24. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 05 del Ramal 1.....	61
25. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 10 del Ramal 1.....	61
26. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 21 del Ramal 2.....	62
27. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 29 del Ramal 2.....	62
28. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 39 del Ramal 3.....	63
29. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 45 del Ramal 3.....	63
30. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 31 del Ramal 4.....	64
31. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 35 del Ramal 4.....	64

32.	Desinfección de las tomas domiciliarias	65
33.	Preparación para la recolección de muestras	65
34.	Recolección de muestra del Ramal 1.	66
35.	Recolección de muestra del Ramal 2.	66
36.	Enjuague de las celdas del Hanna HI 701	67
37.	Muestreo de cloro residual en las tomas domiciliarias.	67
38.	Adición de reactivo DPD para lectura de muestra.	68
39.	Coloración de una muestra tras añadir el reactivo DPD.	68
40.	Lectura de resultado de la muestra.	69
41.	Medición del cloro residual en la red de distribución de agua potable.	69
42.	Medición de cloro residual en la vivienda N° 12 del Ramal 1.....	70
43.	Medición de cloro residual en toma domiciliaria del Ramal 3.	70
44.	Medición de cloro residual en toma domiciliaria del Ramal 4.	71
45.	Recolección de muestra del reservorio.	71
46.	Medición de cloro residual en el reservorio	72
47.	Ultima medición de cloro residual en el reservorio.	72
48.	Equipo medidor de cloro residual Hanna HI 701.....	73
49.	Miembros actuales de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS)...	73
50.	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.	76

RESUMEN

En este estudio se tuvo como objetivo evaluar el cloro residual en la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna. Para ello se identificaron los 4 ramales que conforman la red de distribución y se seleccionó en ellas un total de 22 puntos de muestreo según su distancia hasta el reservorio, distribuyéndose en viviendas iniciales, intermedias y finales, en ellas se midió la concentración de cloro residual durante los meses de enero a abril.

La JASS del Centro Poblado de Rutuna prepara la solución de cloración para una duración de un mes, por lo tanto, el muestreo se realizó considerando este periodo, tomando muestras los días 1, 8, 15, 22 y 28 de cada periodo, durante 3 meses. Para medir el cloro residual se tomó 10 ml de agua de cada punto de muestreo, se le adicionó el reactivo DPD y se procedió a medirlo en el mini fotómetro HANNA HI 701.

Los resultados del muestreo indican que el cloro residual tiene una relación inversamente proporcional con el tiempo de duración de la solución de cloración, además de variar según la distancia desde el reservorio. De las muestras analizadas, solo el 73.3% cumple con la normativa vigente. Entre las muestras que no cumplen, el 95.7% corresponde a aquellas recolectadas a partir del día 22. A través de un análisis estadístico, se determinó que la solución de cloración debe prepararse para un periodo máximo de 15 días para garantizar el cumplimiento de la norma peruana.

Palabras clave: cloro residual, red de distribución, tiempo, solución de cloración

Evaluation of Residual Chlorine in the Potable Water Distribution Network of the Town of Rutuna - Pomabamba – Pomabamba – Ancash, January - April 2024 period

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the residual chlorine in the drinking water distribution network of the Rutuna Populated Center. To active this, the four branches of the distribution network were identified, and a total of 22 sampling points were selected based on their distance from the reservoir, distributed among initial, intermediate, and final households. The concentration of residual chlorine was measured at these points from January to April.

The JASS of de Rutuna Populated Center prepares the chlorination solution for a duration of one moth. Therefore, the sampling was conducted considering this period, taking samples on the 1st, 8th, 15th, 22nd, and 28th of each period for 3 months. To measure the residual chlorine, 10 ml of water was taken from each sampling point, the DPD reagent was added, and the measurement was carried out using the HANNA HI 701 mini photometer.

The sampling results indicate that residual chlorine shows an inversely proportional relationship with the duration of the chlorination solution, as well as varying according to the distance from the reservoir. Of the analyzed samples, only 73.3% comply with current regulations. Among the non-compliant samples, 95.7% were collected from the 22nd day onward. Through statistical analysis, it was determined that the chlorination solution should be prepared for a maximum period of 15 days to ensure compliance with Peruvian regulations.

Keywords: residual chlorine, distribution network, time, chlorination solution

I. INTRODUCCIÓN

A pesar de los avances logrados, según los informes del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2022), un tercio de los peruanos no tienen acceso al agua potable. Según el Sistema de Diagnóstico de Agua y Saneamiento Rural (DATASS), en zonas rurales, el servicio de agua potable cubre solo el 47.9%. Respecto a la cloración, el 58.3% dispone de un equipo clorador, el 59% realiza la desinfección y el 43.4% mide el cloro residual. Sin embargo, solo el 0.22% se encuentra dentro del rango aceptable, y el 38.99% no registra cloro residual en su sistema.

El cloro residual es un parámetro obligatorio según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA. Si se utiliza cloro como el desinfectante, los niveles permisibles para consumo humano deben ser mayores a 1mg/L en el reservorio y de 0.5mg/L en la última vivienda.

Aunque las Juntas Administradoras de los Servicios de Saneamiento (JASS) son responsables de la operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural, a menudo las personas encargadas carecen de la capacitación necesaria. Esto lleva al principal problema que es garantizar la desinfección del agua para asegurar su calidad, lo que resulta en una percepción excesiva o insuficiente de cloro por parte de la población.

El proceso de desinfección del agua, aunque es esencial para garantizar la salud pública, conlleva una serie de impactos ambientales debido a los métodos y productos químicos empleados. El uso inadecuado del cloro, en particular, no solo pone en riesgo la salud de la población al comprometer la potabilidad del agua, sino que también puede generar serios problemas ambientales, como la contaminación de fuentes de agua y la formación de subproductos nocivos. Por lo tanto, es fundamental realizar la evaluación del cloro residual, para evitar el uso excesivo del cloro, asegurando así tanto la protección de la salud pública como la preservación del medio ambiente.

La solución de cloración con una dosis adecuada de cloro se introduce en el sistema para mantener los niveles efectivos de desinfección. Sin embargo, los valores de cloro residual en la red de agua potable pueden ser modificada por varios factores, entre ellos, el tiempo de duración de la solución de cloración. Por ello, en la investigación nos planteamos la siguiente interrogante: ¿Cómo afecta el tiempo a la concentración del cloro residual en la red de

distribución de agua potable del centro poblado Rutuna, Pomabamba-Pomabamba-Ancash, 2024? Planteando como hipótesis que, el cloro residual a partir de los 15 días disminuye de 0.5mg/L en la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna, Pomabamba-Pomabamba-Ancash, 2024.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el cloro residual en la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna, Pomabamba – Pomabamba – Ancash, periodo Enero – Abril 2024.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de cloro residual en los ramales: 1, 2, 3 y 4 de la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna.
- Determinar la relación del tiempo de duración de la solución de cloración: día 1, día 8, día 15, día 22 y día 28, en la concentración de cloro residual de la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna.
- Comparar los resultados de cloro residual de la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna, con los Límites Máximos Permisibles (LMP)

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el estudio realizado por Duarte (2019), tuvo como objetivo evaluar la calidad de agua de consumo humano en el proceso de captación, tratamiento, distribución y consumo, en sus resultados de cloro residual en la red de distribución fueron de 1.93 mg/L a 5.3 mg/L, los cuales se encuentran fuera de los LMP de su normativa (0.3 – 1.5 mg/L). Concluyendo que el agua en la etapa de consumo tiene mala calidad y que requiere de un mejor tratamiento.

Enciso (2019), en su tesis "Seguimiento de la concentración de cloro residual en tanque de almacenamiento, red de distribución y tanques residenciales, realizó un análisis de los parámetros de: cloro residual, pH, temperatura, alcalinidad y conductividad, por tres días. En sus resultados se observa que el cloro disminuye con el tiempo, aunque también hay puntos que mantienen una tendencia equilibrada, lo que indica que otros factores influyen en esta variación. Según la modelación, hay una tendencia decreciente en la concentración del cloro a partir de las 13 horas, con un decaimiento mínimo entre el 30% y el 45%, influido por la ubicación de cada punto en la red. Concluyendo que la variación del cloro residual en las conexiones muestreadas de la red de agua depende de la localización.

En el estudio de García (2019) se evaluó un modelo de decaimiento de cloro residual en una Red de Distribución de Agua (RDAP) y se analizó como se relacionan el cloro libre con la corrosión. Se desarrolló un modelo hidráulico, cuyos resultados de cloro residual fueron parecidos a los valores reales determinados en la RDAP. Sus resultados indicaron que con los coeficientes k_b y k_w hallados experimentalmente se obtiene una mejor precisión en el modelo. Asimismo, con el modelo ya calibrado, se calculó que con una dosis de 1.12 mg/L en el reservorio se logra obtener la presencia de cloro residual en toda la red, con un promedio de 0.87 mg/L en el reservorio y 0.56mg/L en las viviendas. Se concluyó que estos modelos pueden predecir el comportamiento de los compuestos en el agua dentro de una red, lo cual sirve como apoyo en la gestión del servicio optimizando su calidad.

En la tesis llevada a cabo por Rodríguez (2018), se planteó el objetivo de desarrollar un modelo de simulación para el cloro residual en las redes de distribución de agua potable Como parte de la metodología, utilizó el AutoCAD para la creación de los planos

de los componentes que son parte la red de agua y para las curvas de nivel, utilizó el ArcGIS. Finalmente, para la elaboración del modelo de cloro residual, se hizo uso del software WaterCAD. Durante la recopilación de datos en campo, que incluyó la medición de cloro residual libre, se consideraron 146 conexiones domiciliarias. Los resultados obtenidos en campo fueron de 0.53 y 0.89 mg/L, estos valores mínimos y máximos, respectivamente, se encuentran en el rango de los LMP según la Organización Mundial de la Salud (0.50 mg/L – 5 mg/L) y el D.S. N° 031-2010-SA. Como conclusión se determinó que las concentraciones de cloro residual de la red de distribución superan el umbral de 0.50 mg/L, lo cual asegura la eliminación óptima de las sustancias perjudiciales para la salud.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Paredes (2023) en su estudio propuso evaluar el efecto de la dosis de cloro para eliminar las bacterias en el sistema de agua potable en Supte, 2023. Realizo su muestreo en 3 puntos de la red de distribución según su distancia desde el reservorio, en ellas evaluó el cloro libre y las bacterias. Sus resultados obtenidos fueron que la dosis óptima de cloro determinada en un laboratorio tuvo mayor porcentaje de eliminación de bacterias, asimismo obtuvo valores de cloro residual de: reservorio de 1.80 mg/L, vivienda inicial de 1.50 mg/L y 0.58 mg/L en la vivienda final, concluyendo que la dosis de cloro calculada es la ideal, debido a que el cloro residual está dentro de lo que indica la normativa.

La investigación de Gutiérrez y Domínguez (2023) tuvo como objetivo modelar y simular los valores de cloro residual en el sistema de agua potable de dos sectores en Santa María de Nieva, durante épocas de estiaje y de precipitaciones, utilizando el software WaterCAD. Los resultados mostraron que la dosis de cloro de 1.0 mg/L utilizado en ese momento era insuficiente para mantener niveles adecuados a lo largo de la red. Al incrementar la dosis, considerando el aumento de la población y las diferentes temporadas, se halla que la dosis de 2 mg/L era adecuada en la época de estiaje y 2.5 mg/L para épocas de precipitaciones. La conclusión fue que el modelamiento permite lograr una estabilidad en los valores de cloro residual, además que garantiza el cumplimiento de los LMP establecidos por el MINSA.

Mejía y Mercado (2023), evaluaron la estabilidad de diversas soluciones de cloro utilizadas para la cloración del agua en la EPSA AUAP de El Paso, Cochabamba. Exponiendo estas soluciones a la luz solar durante 7 días en recipientes opacos y translucidos, encontraron que el hipoclorito de calcio, cicloroisocianurato de sodio y ácido tricloroisocianúrico, experimentaron pérdidas significativas de concentración cuando fueron expuestos en frascos translucidos. Específicamente, el hipoclorito de calcio mostro una pérdida

de gasta el 40.56% de su concentración en tan solo 1 hora de exposición solar. En contrasté, en frascos opacos, todas las composiciones de cloro conservaron hasta un 97% de su concentración después de 7 días de exposición solar.

Paredes (2022), en su tesis investigó como el método de cloración por goteo influye en los valores de cloro residual en el suministro del agua potable. Para ello, utilizó un muestreo no probabilístico, para evaluar la eficiencia de este método con los diferentes valores de cloro residual que se obtienen en los puntos de muestreo. En sus resultados, se evidenció que según la ubicación del punto de monitoreo varía el cloro residual, en las viviendas más cercanas al reservorio de agua potable los valores fueron más altos, en contraste en las viviendas más alejadas las más bajas, con resultados de cloro residual (mg/L) de 0.99 a 1.03 en el reservorio, en las viviendas iniciales de la red de 0.74 a 0.85, en las viviendas intermedias de 0.69 a 0.70 y en las viviendas finales de 0.36 a 0.49.

Huanay (2021), en su tesis evaluó la calidad de agua para consumo humano del sistema de abastecimiento, para ello evaluó nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el reservorio y en las viviendas inicial, intermedia y final, repitiendo tres veces por cada punto. En sus resultados se muestra que las concentraciones de cloro residual fueron menores de 0.5 mg/L, que se indica en los LMP, esto es debido a que no están clorando. Concluyendo que la presencia de las bacterias es debido a que no se cumple con la cloración del agua y, por ende, el agua no es seguro para su consumo.

En el estudio titulado "Relación entre el cloro total y residual del sistema de agua potable en la ciudad de Huancavelica - 2021" de Huayllani y Zevallos (2021), se determinó la cantidad optima de cloro para su sistema de agua, evaluó los parámetros de caudal, pH y turbiedad. El objeto de estudio fueron los 9 lugares abastecidos por diferentes plantas de tratamiento (PTAP). Comparándose las dosis de cloro (mg/L) de 1.35 y 2.00 con el cloro libre, obteniendo resultados de cloro residual (mg/L) para el reservorio de 1.75 a 1.89 y en los puntos de la red de distribución cumplieron con la normativa peruana. Sin embargo, según en el análisis estadístico no hay relación entre la dosis de cloro aplicada y el cloro residual presente en la red de distribución de agua potable.

Barrientos y Huanca (2021) investigaron el impacto del hipoclorito de calcio en las concentraciones de cloro residual en el agua potable de conexiones domiciliarias a distintos Ramals en Calacoa, en la región de Moquegua. Utilizando dos dosis de hipoclorito de calcio (14.4 kg y 16.8 kg), encontraron que la primera dosis resulto en valores de cloro residual (mg/L) de 0.30 a 0.40 en las conexiones domiciliarias, mientras que la segunda dosis

produjo datos de 0.79 mg/L a 1.66 mg/L. Además, observaron variaciones en el cloro residual según las distancias de los hogares al reservorio. Concluyeron que el hipoclorito de calcio desempeña eficazmente su función desinfectante al mantener un cloro residual que cumple con las normativas establecidas.

Huamán y Contreras (2020) en su investigación que lleva por título "Evaluación del cloro residual libre en Santa Rosa de Ccochampampa-Huancavelica" determinaron una dosis ideal de cloro para la desinfección del agua con un hipoclorador por goteo, que además aseguro el cloro residual libre. Experimentaron con dosis distintas de: 3500 ppm, 4000 ppm y 5000 ppm. La dosis más alta, de 5000 ppm, logro que el 100% de las viviendas alcancen valores de cloro residual libre exigidos por en las leyes peruanas.

En el estudio "Determinación del cloro residual en el centro poblado La Palma – San Bernardino, 2019" los autores Díaz y Ríos (2019) tuvieron el objetivo de realizar una evaluación de la concentración de cloro libre presente en el agua potable. Como resultados obtuvieron valores de cloro residual: 0.9 – 1 ppm en el reservorio, 0.8 – 0.9 ppm en la primera vivienda, 0.4 – 0.5 ppm en la intermedia y 0 - 0.02 ppm en la última conexión. Concluyendo que el cloro total utilizado no compensa la demanda de cloro, ya que las ultimas viviendas no están dentro del rango establecido en la norma peruana, indicando que la cloración en La Palma no es eficiente.

Landeo (2018), en su investigación titulada "Relación de los métodos por goteo y la eficiencia del cloro residual en los sistemas de cloración en el ámbito rural ", evaluó dos métodos de cloración; por goteo con flotador y con embalse, para comparar su eficiencia respecto al cloro residual en Huancavelica. Sus resultados de cloro residual registrados para la primera vivienda fueron de 0.71 – 1.03 ppm, en la vivienda intermedia de 0.67 - 1.01 ppm y en la última vivienda de 0.57 – 0.91 ppm. En conclusión, la cloración por goteo con flotador fue la que presento mejores resultados.

Pérez y Ramos (2018), en la investigación de "Dosis de cloro total y residual en sistema de abastecimiento del agua de Puyhúan Grande, Huancavelica", se evaluó la dosificación de cloro con relación a la presencia de cloro libre. Para ello, en primer lugar, se calculó la concentración de la dosis para la preparación de la solución de cloración, considerando los parámetros de volumen, tipo de tanque y caudal. Después, se muestreo de un total de 200 a 132 usuarios seleccionados al azar. Sus resultados mostraron que la cantidad de cloro utilizada era inadecuada, puesto que, el valor obtenido en el reservorio fue de 0.4 a 0.5

ppm y de 0 a 0.39 ppm en las conexiones domiciliarias. Esto llevo a la conclusión de que no se cumplían con los LMP de la norma.

En su estudio Inca y Ulloa (2018) modelo y simulo el cloro residual en la red de agua del Caserío de Pueblo Nuevo, las mediciones se realizaron en 13 viviendas distribuidas en toda la red durante 3 meses, obteniendo como resultados de cloro residual promedio, en el reservorio 1.78 mg/L, 0.72 – 0.87 mg/L en las conexiones iniciales, 0.36 – 0.66 mg/L en las conexiones intermedias y en las finales no se registró con cloro, al no cumplir con la normativa, se determinó la dosis optima que asegure que el cloro residual se cumpla en todas las conexiones. Concluyendo que la modelación y la simulación se puede lograr un eficiente manejo de la calidad del agua.

2.1.3. Antecedentes locales

Nizama (2019), en su estudio, tuvo como objetivo principal determinar cómo disminuye el cloro según el coeficiente de reacción en la masa de agua en las tuberías del sistema de agua potable de la localidad de San Miguel – Ancash. En la metodología describe que utilizo el método de cloración por goteo y para el modelamiento utilizó el software WaterCAD. En sus resultados lograron determinar coeficientes de decaimiento del cloro residual, concluyendo que, a partir de estos valores, es posible realizar un modelamiento de la calidad del agua que muestre el comportamiento del cloro en su recorrido por toda la red de agua potable de la localidad.

2.2. Sistema de distribución de agua potable

Es una compleja red hidráulica. Estos sistemas están compuestos por una red de tuberías interconectadas que permiten el transporte y suministro directo de agua a los beneficiarios del servicio. La configuración de estas redes asegura el cumplimiento de las condiciones de calidad del agua, presión, caudal y continuidad del servicio. (Guanuchi y Ordoñez, 2017)

Para garantizar que funcione en óptimas condiciones, es común la instalación en estos sistemas una variedad de elementos como depósitos, estaciones de bombeo y una gama de accesorios que incluyen válvulas, dispositivos de medición y otros componentes necesarios para controlar y mantener la eficiencia en el sistema de distribución de agua.

Uno de los propósitos fundamentales de una red de distribución es asegurar que se suministren cantidades adecuadas de agua en todo momento, mantenimiento la calidad obtenida durante el proceso de potabilización. (Guanuchi y Ordoñez, 2017)

2.2.1. Tipología de las redes de distribución

Cañero (2016), menciona los siguientes:

- Red compuesta por ramificación: este tipo se distingue por tener una tubería principal de diámetro mayor que se ramifica en varias tuberías de menor diámetro, las cuales conectan con las tomas domiciliarias en las viviendas. Esto suele ser representado en la figura 1^a, donde se observa como las líneas principales se dividen en líneas más pequeñas que finalmente llegan a los usuarios.
- Red mallada: en contraste, la red mallada forma una serie de cuadrículas o circuitos cerrados donde cada punto de consumo está conectado por múltiples vías de flujo, este tipo garantiza una mayor redundancia y flexibilidad en el suministro de agua, ya que permite rutas alternativas en caso de fallas o mantenimiento en alguna sección de la red. (Figura 1b)
- Red mixta: resulta ser la mezcla de ambas mencionadas anteriormente, integrando tanto la estructura ramificada como la mallada. Esto proporciona cierta redundancia mientras se mantiene una organización principal de ramificaciones con conexiones adicionales en forma de malla, adaptándose así a necesidades específicas de distribución y seguridad. (Figura 1c)

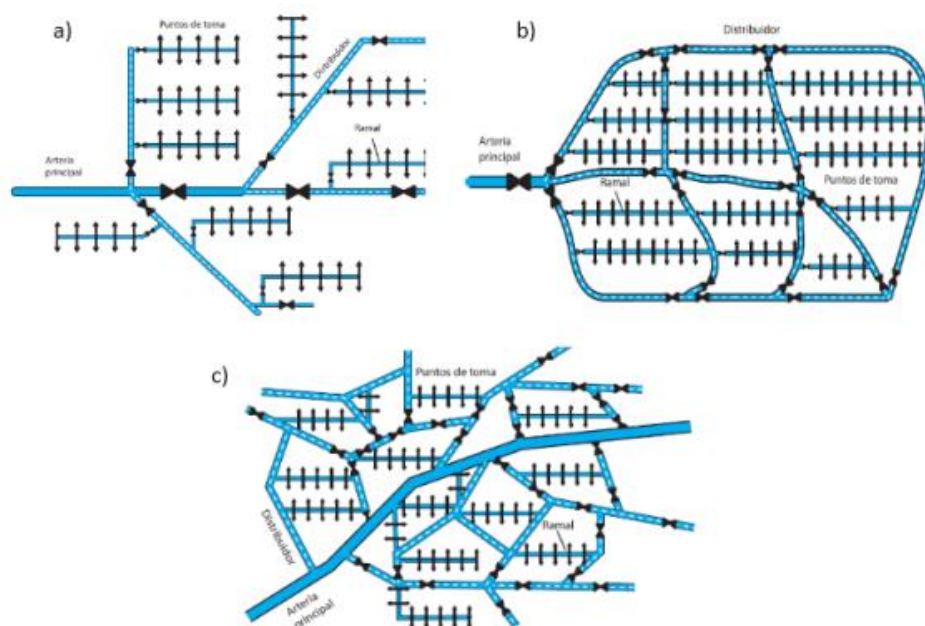


Figura 1. Diagrama de los tipos de redes de distribución de agua potable.

Fuente: Cañero, 2016

2.2.2. Componentes de un sistema de distribución de agua

Según la Comisión Nacional de Agua (CNA, 2018) la red de distribución de agua potable se define como la unión de tuberías, accesorios y estructuras las cuales conducen el fluido desde el reservorio hasta la conexión domiciliaria. Una red de este tipo debe asegurar un rendimiento apropiado para ofrecer un servicio ininterrumpido a los usuarios. Los elementos fundamentales de una red de agua potable abarcan:

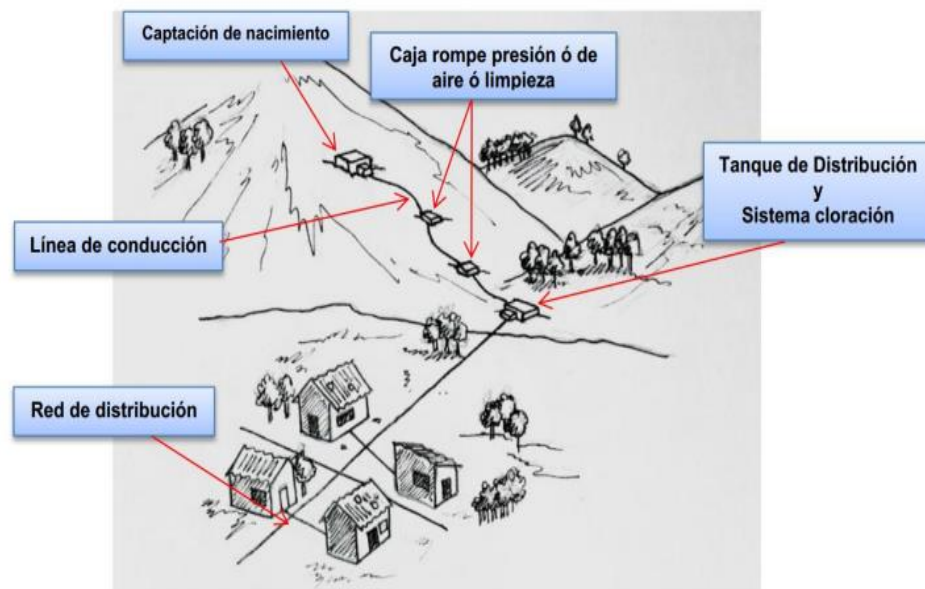


Figura 2. Sistema convencional de agua por gravedad en un ámbito rural.

Fuente: CNA (2018)

- Captación: grupo de infraestructuras diseñadas para recoger agua de una fuente, que puede ser superficial (ríos, lagos) o subterránea (pozos, manantiales)
- Reservorio: estructura de almacenamiento que recibe el agua recogida de la fuente. Permite regular el flujo y la distribución del agua hacia la población.
- Tubería: conjunto de ductos circulares y sus accesorios de conexión. Estas tuberías se encuentran interconectadas en puntos específicos llamados nodos.
- Tomas domiciliarias: conjuntos de piezas y tubos que conectan la tubería principal con las conexiones domiciliarias de los usuarios.
- Piezas especiales: accesorios utilizados para realizar ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, entre otros que pueden ser de diferentes materiales o diámetros.

- Válvulas: dispositivos que controlan el flujo de agua en la red. Hay 2 principales: de aislamiento, que se utilizan para cerrar o limitar el flujo de agua en secciones específicas, facilitando reparaciones o mantenimiento y las de control que regulan el caudal del agua, asegurando que se mantenga dentro de los parámetros deseados en la red de distribución.

Estos componentes trabajan en conjunto para asegurar que el agua potable se distribuya de manera eficiente y segura a los usuarios finales.

2.3. Cloración

La cloración es reconocida históricamente como un método eficaz para desinfectar el agua y prevenir diversas enfermedades transmitidas por este medio. Radica en añadir algún compuesto clorado como cloro elemental, hipoclorito de sodio o calcio al agua que paso por un tratamiento previo. Con el tiempo, el cloro elimina las sustancias patógenas presentes en el agua. Tiene como ventajas que el cloro además de realizar la desinfección de inmediato actúa como un desinfectante secundario que continúa protegiendo la calidad el agua durante horas o incluso días, evitando la propagación de nuevos contaminantes en la red de agua. (Guanuchi y Ordoñez, 2017).

Para poder distribuir el agua por la red, se debe de desinfectar para asegurar su calidad. Aunque hay varios métodos de tratamiento disponibles, según las normativas vigentes se debe de mantener un remanente de desinfectante en todos los puntos de la red. (García, 2019)

El proceso de desinfección típicamente se lleva a cabo mediante métodos físicos y/o químicos, como se especifica en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Tipos de desinfección del agua.

Tipo de desinfección	
Físico	Calor, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, osmosis inversa, radiación ultravioleta
Químico	Cloro, ozono, permanganato potásico, peróxido de hidrógeno.

Fuente: CNA (2018)

2.3.1. Factores que intervienen en la cloración

Según Chulluncuy (2011) varios factores influyen en la etapa de cloración, incluyen la naturaleza, concentración y distribución de los agentes a eliminar, así como de los componentes resultantes de la reacción del cloro con el agua. También son

importantes el tipo y la concentración del desinfectante utilizado, la naturaleza y temperatura del agua tratada, el tiempo de contacto, el pH y la mezcla homogénea del cloro a lo largo de toda la masa de agua. La presencia de diversos organismos en el agua puede requerir diferentes niveles de cloro para su eliminación, subrayando la importancia de una dispersión uniforme del cloro en la red de agua para asegurar la eficacia de la cloración.

2.3.2. Dosis de cloro

Fustamante (2017), menciona que la cantidad necesaria de desinfectante varía según el tipo de agua a tratar. Recomiendan evaluar esta dosis antes de implementar a una red de agua potable, para ello es necesario un laboratorio y especialistas. Además, sugiere revisar la dosificación de cloro como mínimo dos veces por año, especialmente durante periodos de lluvia y sequía, cuando las características del agua pueden cambiar. En el Perú, la normativa establece que debe haber como mínimo de cloro residual un 0.50 mg/L en el agua destinada para consumo potable. Por lo tanto, la fórmula para calcular dicha dosis es:

$$\text{"Dosis de cloro} = \text{demanda de cloro} + 0.50 \text{ mg/L"}$$

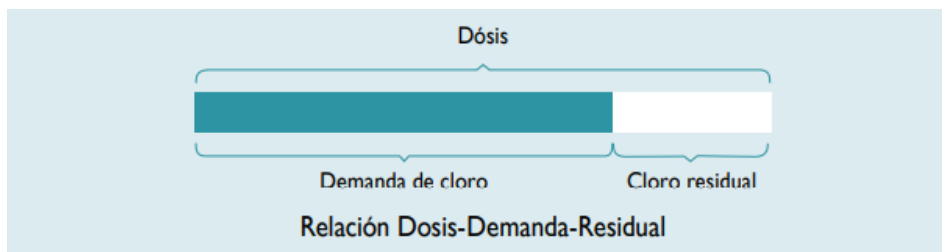


Figura 3. Relación de cloro: dosis-demanda-residual.

Es importante determinar con precisión la cantidad demandada de cloro para determinar y aplicar la cantidad adecuada. Esta demanda, comprende la concentración de cloro necesaria para matar a los patógenos presentes en el agua y la cantidad que reacciona con los compuestos presentes en el agua.

Alcocer et al. (2015) explican los cuatro puntos clave del proceso de desinfección con cloro, el cual se muestra en la **Figura 4**:

- Punto 1, implica satisfacer la demanda de cloro por parte de los agentes reductores presentes en el agua.
- Punto 2, ocurre un incremento del cloro, lo que resulta la creación de cloraminas, que son desinfectantes efectivos para eliminar microorganismos.

- El punto 3, es cuando los agentes reductores han reaccionado, se alcanza el tercer punto, ahí es cuando se incrementa el cloro residual y se inicia con la oxidación de las cloraminas formadas.
- Al punto 4, se llega una vez eliminadas todas las cloraminas, donde el agua debería de tener al menos 0.5 mg/L de cloro residual durante su trayecto hacia las viviendas. Esto asegura la eliminación de bacterias persistentes y otras impurezas en el agua potable.

Este proceso asegura que el agua tratada con cloro mantenga un nivel efectivo de desinfección en todo su recorrido hasta llegar al consumidor final.

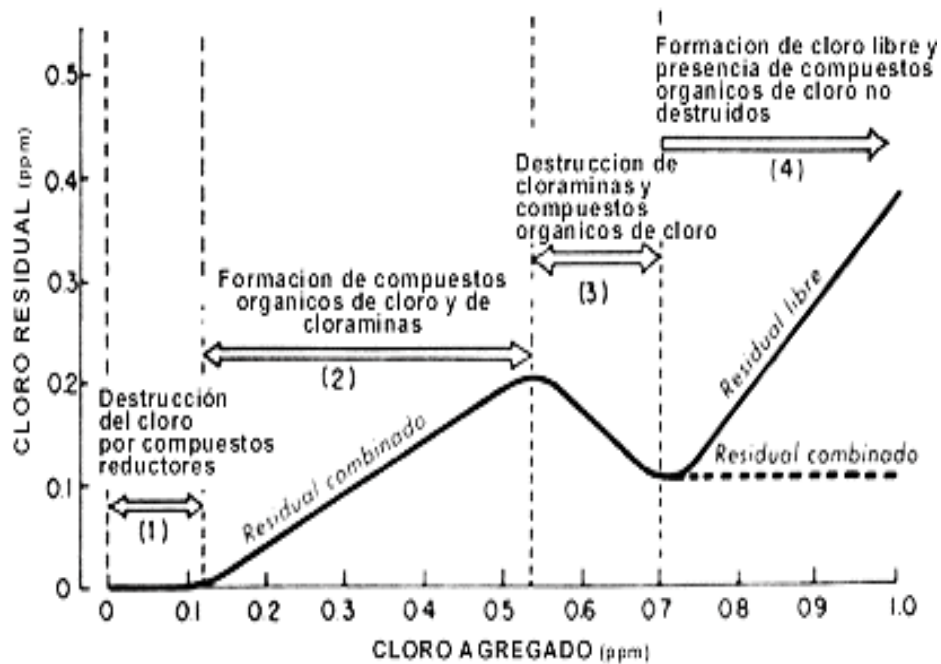
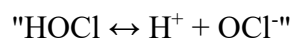


Figura 4. Curva de la demanda de cloro en el agua.

2.3.3. Mecanismo de acción del cloro

El cloro actúa como desinfectante en el agua al perforar la pared celular de los organismos y atacar su sistema enzimático, lo que resulta en la muerte del patógeno. Según la CNA (2018), los agentes desinfectantes son el ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl⁻). El ácido hipocloroso se disocia en iones hidrogeno y iones hipoclorito en una reacción reversible:



Además, el cloro reduce el pH del agua debido a la producción de iones hidrogeno en estas reacciones. (CNA, 2018)

2.3.4. Cloro residual o desinfectante secundario

Es el residual de cloro que existe en el agua tras ocurrir un tiempo de residencia, el cual debe cumplir con los límites permisibles para garantizar la calidad del agua en la red de distribución: más de 1 mg/L en el reservorio y de 0.5 mg/L en la última vivienda. (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2010)

Un aspecto importante es que la eliminación de microorganismos no reduce significativamente el contenido de cloro residual, indicando que el cloro residual es responsable de la acción bactericida y de proteger el agua contra contaminantes posteriores.

De igual manera, es necesario tomar en consideración que la dosis de cloro es experimental y varía según el tipo de agua tratada y el comportamiento del cloro frente a factores externos.

2.3.5. Hipoclorito de calcio

También conocido como "cal clorada", es un compuesto químico representado por $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Está formado por sales de calcio del ácido hipocloroso y se obtiene al disolver gas cloro (Cl_2) en una solución de óxido de calcio (CaO) e hidróxido de sodio (NaOH) (Su, 2009)

Este compuesto es muy utilizado para el tratamiento de aguas debido a la efectividad en la eliminación de microorganismos y patógenos nocivos para la salud humana. Se representa como gránulos de color beige claro y, en solución acuosa, emite un olor parecido al del hipoclorito sódico. Debido a su potente capacidad antiséptica, se usa como desinfectante del agua, especialmente en su concentración del 70% (Gómez, 2018)

El hipoclorito de calcio es relativamente estable y se emplea en la industria para esterilizar y purificar el agua. (Gómez, 2018). Respecto al contenido de cloro activo, estas soluciones mantienen su estabilidad durante 30 días cuando se almacenan a 25°C. (Carlotto et al., 2016)

2.3.6. Estabilidad de las soluciones de hipoclorito de calcio

Según Mejía y Mercado (2023), las soluciones que contienen cloro son susceptibles a la inestabilidad, la cual está condicionada por su composición química, como el hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio, cicloroisocianurato de sodio, ácido tricloroisocianúrico, entre otros. Factores como la temperatura, pH, exposición a la luz, método de almacenamiento, concentración e impurezas influyen significativamente en su estabilidad.

En particular, las soluciones de hipoclorito son reconocidas por su baja estabilidad, iniciando su descomposición prácticamente desde su preparación y continuando este proceso hasta su completa descomposición. De acuerdo con Mejía y Mercado (2023), la estabilidad de estas soluciones se ve influenciada principalmente por cinco factores clave: la concentración inicial de hipoclorito, el nivel de alcalinidad o pH de la solución, la temperatura durante el almacenamiento y la presencia de impurezas que pueden actuar como catalizadores de la descomposición

2.4. Decreto Legislativo N° 1280

El D.L N° 1280, la "Ley marco de la gestión y prestación de los servicios de saneamiento", aprobado el año 2016, nos indica lo siguiente:

En el **Artículo 1°**, menciona que la ley establece las normas concernientes a los servicios de saneamiento en toda la nación, teniendo como fin el acceso universal, la calidad, eficiencia sostenibilidad de los servicios, para promover la protección ambiental y la inclusión social.

En el **Artículo 2°**, menciona que el servicio de agua potable está conformado por los procesos de captación, almacenamiento, conducción, distribución y entrega al usuario.

El **Artículo 14°**, sobre la prestación de los servicios de saneamiento en el ámbito rural, menciona que este servicio es ejercido por la municipalidad competente, a través de las unidades de gestión municipal o indirectamente con las organizaciones comunales.

En el **artículo 26°**, hacen mención que las empresas o comunidades que brindan estos servicios de saneamiento se establecen con la finalidad de aplicar tecnologías apropiadas para el tratamiento de las aguas para consumo humano y residuales, que aseguren el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), con el objetivo de prevenir la contaminación.

2.5. D.S. N° 031-2010-SA

El " Reglamento de la Calidad de agua para Consumo Humano", se establece en el D.S. N° 031-2010-SA, menciona:

En el **Artículo 1°**, el presente reglamento establece las disposiciones que garanticen la inocuidad y la prevención de factores de riesgos sanitarios

En el **Artículo 59°**, hacen mención de que el agua potable debe ser apta para consumo humano, y cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el reglamento, para así ser segura para la salud.

En el **Artículo 62°**, mencionan los parámetros de origen inorgánico que no deberán superar los límites máximos permisibles. En la, visualizamos al cloro, dado que es el objeto de este estudio.

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de Parámetros Inorgánicos.

Parámetro Inorgánico	Unidad de medida	Límite Máximo Permissible
Cloro*	mg/L-1	5

*Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mg/L.
Fuente: Ministerio de Salud (2010)

En el **Artículo 66°**, se refiere al control del desinfectante, resaltando que el agua para consumo humano no debe tener microorganismos, Asimismo, el desinfectante usado debe dejar un remanente con la finalidad de proteger al agua de posibles contaminaciones durante la distribución. Si se emplea cloro o una solución clorada, las muestras extraídas en cualquier vivienda de la red de distribución no debe de obtener menos de 0.5 mg/L de cloro residual en el 90% de las muestras recolectadas en un mes. En el 10% restante, ninguna debe contener menos de 0.3mg/L

2.6. Medidor de Cloro Residual HI 701

2.6.1. Descripción

El dispositivo HI 701, es un mini fotómetro utilizado para medir el cloro libre residual existente en el agua. Es ideal para realizar monitoreos in situ por su tamaño pequeño y facilidad de manejo. Este instrumento está equipado con una fuente de luz LED de 525 nm atraviesa una celda de vidrio conteniendo la muestra de agua con un reactivo. El reactivo modifica la coloración del agua en respuesta al cloro presente. La intensidad de luz que es recibida por una foto célula de silicio se convierte en un valor numérico, e indica la cantidad de cloro libre residual en el agua en partes por millón (ppm). (Hanna Instruments, 2018)

Tabla 3. Especificaciones técnicas del medidor HI 701.

Especificaciones técnicas	
Rango	0.00 a 2.5 ppm
Resolución	0.01 ppm
Precisión	± 0.05 ppm $\pm 3\%$ de la lectura a 25°C
Desv. Típica EMC	± 0.03
Fuente de luz	Diodo emisor de luz a 525 nm
Detector de luz	Fotocélula de silicio
Método	Adaptación del método USEPA 330.5.
Dimensiones	81.5 x 61 x 37.5 mm
Peso	64g

Fuente: Hanna Instruments (2018)

2.6.2. Descripción funcional

**Figura 5.** Componentes del Equipo HI 701.

Fuente: Hanna Instruments (2018)

2.6.3. Principio fundamental

El principio fundamental del reactivo HI 93701-0, se basa en el método DPD, con el cual el cloro libre residual presente en la muestra reacciona. Esta reacción produce una pigmentación rosada en la muestra, y la intensidad de esta coloración es directamente proporcional a la concentración de cloro en el agua.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación Política

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Poblado Rutuna, ubicado en el distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash.

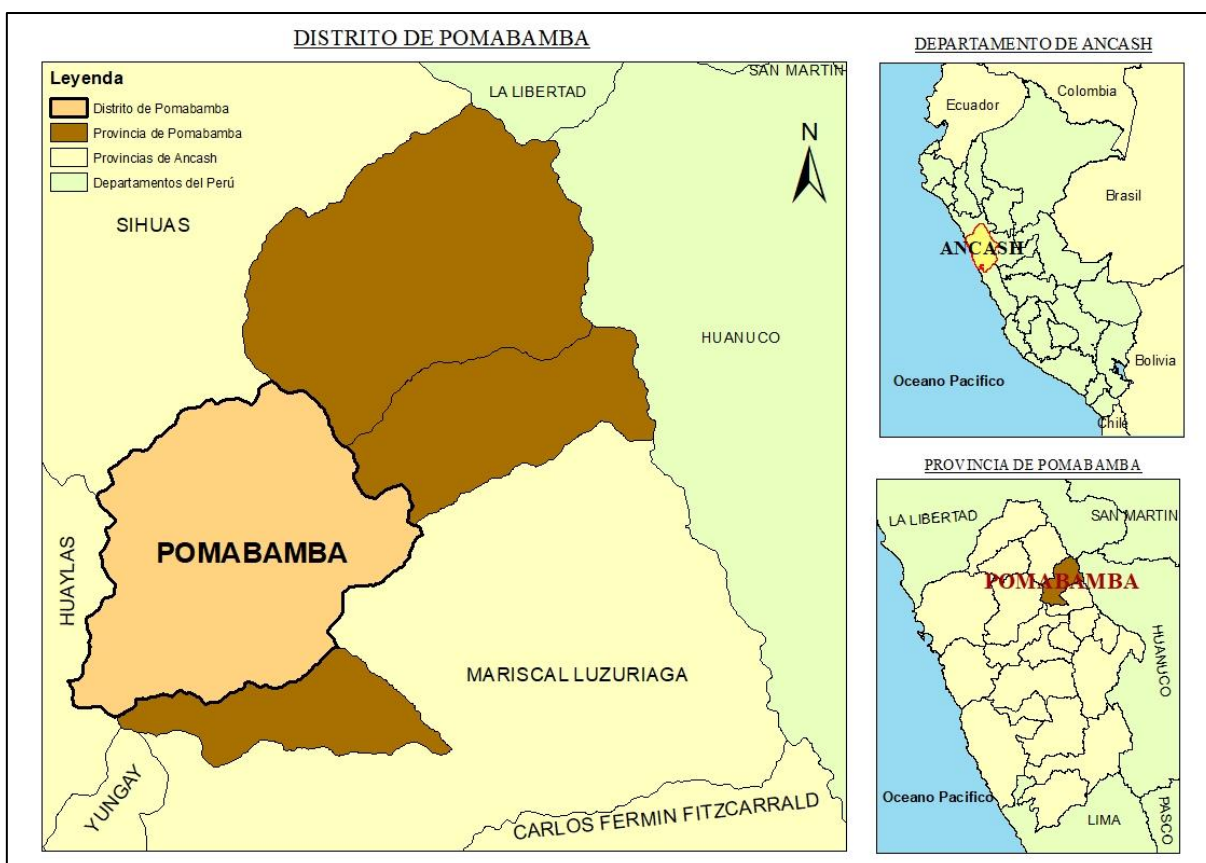


Figura 6. Ubicación política del distrito de Pomabamba

3.1.2. Ubicación geográfica

El Centro Poblado de Rutuna, lugar donde se desarrolló la investigación se localiza en las coordenadas UTM 225717E 9026234N, a una altitud de 3301 m.s.n.m.

Las coordenadas geográficas de los puntos muestreados se muestran en la **Tabla 4**: El reservorio, viviendas iniciales, viviendas intermedias y viviendas finales en los 4 ramales que conforman la red de agua potable.

Tabla 4. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

RAMAL	Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS84-18S)		
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
	Reservorio	225099.99	9025796.67	3536
1	1	225206.47	9025779.89	3492
	3	225296.12	9025726.42	3476
	5	225362.76	9025662.21	3473
	10	225644.29	9025932.40	3348
	13	225761.34	9025892.89	3313
	16	225827.02	9025855.06	3299
	2	17	225319.13	9026110.37
19		225449.85	9026166.59	3367
21		225586.42	9026113.39	3332
22		225501.90	9026285.45	3322
24		225735.19	9026263.18	3247
29		225767.32	9026204.05	3252
27		225779.37	9026311.81	3242
30		225834.33	9026308.07	3228
3	39	225291.88	9026216.14	3371
	42	225289.56	9026281.59	3349
	43	225264.50	9026351.48	3317
	45	225272.43	9026418.36	3292
4	31	225625.58	9026404.87	3249
	33	225483.55	9026541.01	3231
	35	225338.78	9026606.14	3214
	37	225206.83	9026603.86	3209

En la **Figura 7** , se puede dar observación a la ubicación de los puntos muestreados en los 4 ramales que conforman la red de agua potable del Centro Poblado Rutuna.

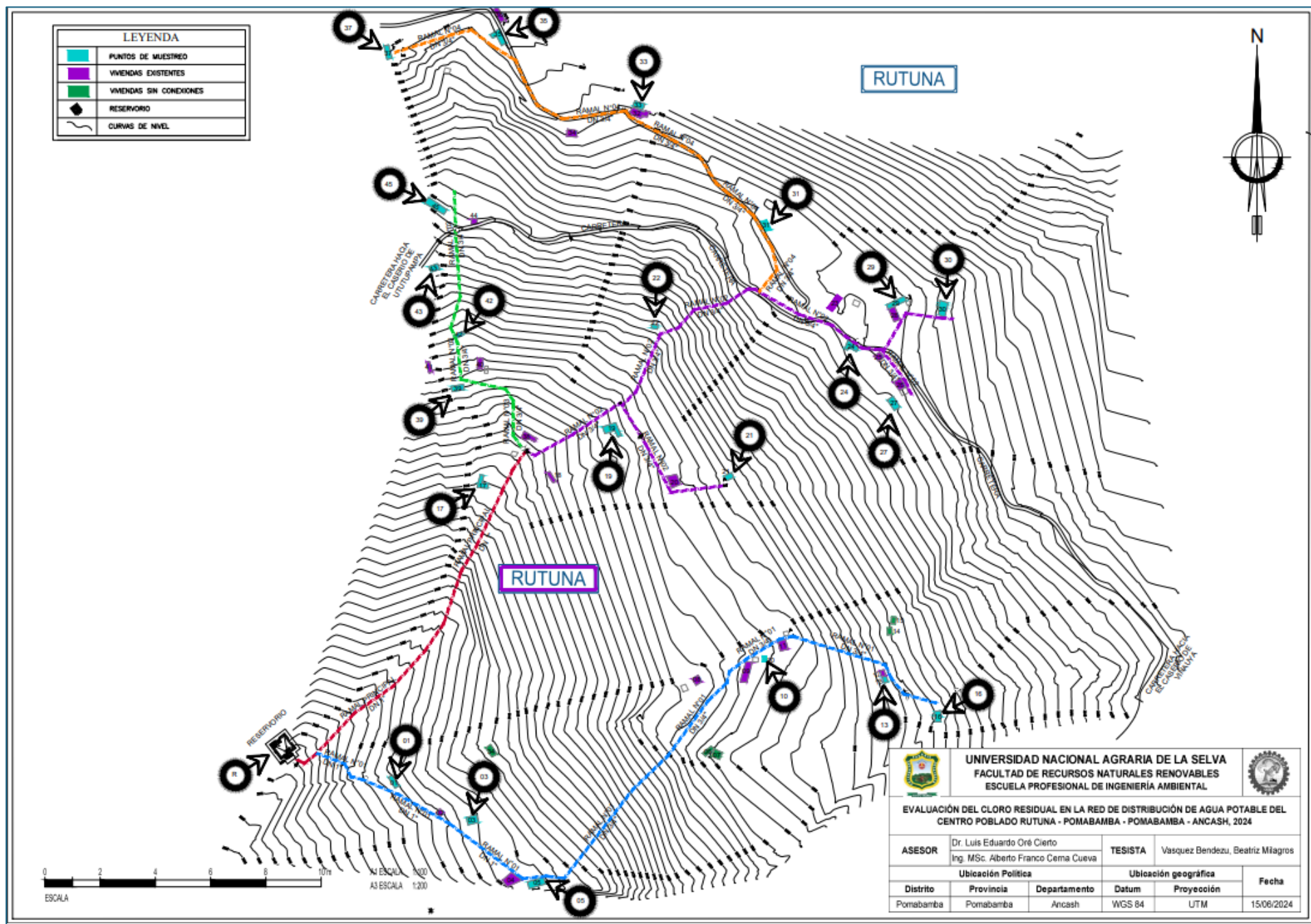


Figura 7. Ubicación de los puntos muestreados.

3.1.3. Climatología

En el distrito de Pomabamba el clima predominante es lluvioso, frío y húmedo, que se extiende entre los 3000 – 4000 msnm, presenta precipitaciones promedio por año de 700 mm, la temperatura promedio es de 25°C en época húmeda y 23.2°C en época seca, asimismo, el promedio de temperatura mínima es de 9.6°C en épocas de lluvia y de 3.5°C en época de estiaje (Sobrino, 2018)

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Los materiales que se emplearon en este estudio fueron: 2 frascos de vidrio de 500 ml, alcohol 96°, guantes quirúrgicos, mascarillas. En cuanto a los equipos, se hizo uso de un medidor digital de cloro residual de la Marca Hanna HI701, GPS Garmin y una laptop.

3.3. Criterios de investigación

3.3.1. Nivel de investigación

Es de nivel aplicativo puesto que la investigación busca abordar un problema específico el cual es la variación del cloro residual en la red de distribución de agua potable mediante la evaluación del tiempo de duración de la solución de cloración, Así mismo, la investigación propuesta tiene un enfoque práctico y aplicativo al abordar un problema relevante para la calidad de agua potable cuyos resultados pueden tener aplicaciones directas en la gestión de la desinfección del agua para consumo humano, lo cual es característico de las investigaciones de nivel aplicativo (Supo, 2023)

3.3.2. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada y descriptiva, porque a que está diseñada para generar resultados que tengan un impacto directo en la práctica (Oseda et al., 2019), asimismo, se pretende describir el comportamiento de la concentración del cloro residual según varía el tiempo de duración de la solución de cloración.

3.3.3. Variables de investigación

V_x: cloro residual

V_y: tiempo de duración de la solución de cloración

3.3.4. Operacionalización de variables

Tabla 5. Matriz de operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	OPERACIONALIZACIÓN	INDICADOR
Variable X: Cloro Residual	Es el remanente de cloro presente en el agua, después de que parte del cloro añadido al agua reaccione en el proceso de desinfección de esta. (OMS, 2009)	Los valores de cloro residual en la red de distribución de agua potable deben ser mayores a 0.5mg/L y menor o iguales a 5 mg/L.	- Cloro Residual - R.D: Ramal 1 - R.D: Ramal 2 - R.D: Ramal 3 - R.D. Ramal 4	Medición del cloro residual en las viviendas de la red de distribución, que están divididas en 4 ramales.	▪ mg/L ▪ distancia: m
Variable Y: Tiempo de duración de la solución de cloración	Esta variable representa la duración durante la cual la solución de cloración se mantiene antes de su aplicación en la red de distribución de agua potable. (OMS, 2009)	Se medirá en unidades de tiempo, (días), desde la preparación de la solución de cloración hasta su aplicación en la red de distribución de agua.	- Día 1 - Día 8 - Día 15 - Día 22 - Día 28	Las mediciones de cloro residual se realizarán en el horario de 8-10 am, durante el tiempo que dure la solución de cloración.	▪ Días

3.3.5. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental, longitudinal y de tendencia, puesto que, observó y recolectaron los datos en campo a lo largo del tiempo sin ninguna intervención del investigador, de esta manera se analizó si hay alguna tendencia discernible en los valores del cloro residual de la red de agua potable a medida que varía el tiempo de duración de la solución de cloración. El diseño de la investigación se muestra en la **Figura 8.**

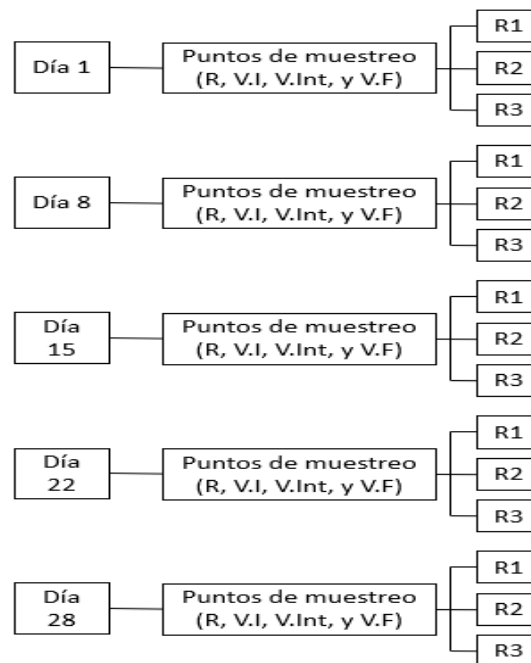


Figura 8. Diseño de la investigación.

3.3.6. Población y muestra

Población

La población de este estudio está contemplada por las 45 viviendas abastecidas por el actual sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado rutuna

Muestra

Para determinar el tamaño de muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * S^2}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * S^2}$$

Donde:

n: muestra; Z: constante de nivel de confianza; S: desviación estándar, N: viviendas, d: error muestral admisible

Se procedió a seleccionar las 22 viviendas, para ello se empleó un muestreo no probabilístico intencional o por conveniencia, teniendo en cuenta la distribución de las conexiones domiciliarias en categorías de iniciales, intermedias y finales según su ubicación en los cuatro ramales existentes de la red de distribución de agua potable. Esta muestra permitió llevar a cabo un análisis representativo y significativo del cloro residual de la red de Rutuna.

3.3.7. Técnicas e instrumentos de investigación

En la **Tabla 6**, se detallan las técnicas de recolección de datos e información que se utilizó para la ejecución del presente estudio

Tabla 6. Técnicas e instrumentos de investigación.

Técnicas	Instrumentos
Observación no experimental	Lista de cotejo para la observación de los componentes de la red de distribución de agua potable
Análisis documental	Ficha de registro de la información de triple entrada
Estadística	Tablas y gráficos

3.3.8. Análisis de datos

Para analizar los valores de cloro residual se hizo uso de la estadística para la obtención de los mínimos, máximos, media, desviación estándar, coeficiente de variación y error típico de los datos.

Los resultados obtenidos se contrastaron con los LMP del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano establecido en el D.S. N° 031-2010-SA.

3.4. Metodología

3.4.1. Determinación de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable

3.4.1.1. Determinación de los puntos de muestreo de cloro residual

Se inició la investigación con un recorrido para verificar el estado de las estructuras de la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna, para ello se

solicitó el permiso respectivo al presidente de la JASS. La recopilación de dicha información se hizo mediante el llenado de la ficha de reconocimiento del sistema de abastecimiento de agua potable (Paredes, 2023).

Asimismo, se realizó la identificación y selección de las conexiones domiciliarias de la red de agua. Inicialmente se identificaron los cuatro ramales de la red de distribución de agua potable, posterior a ello se determinó las conexiones de domiciliarias ubicados en cada ramal, seleccionándolos según su distancia del reservorio considerando viviendas iniciales, viviendas intermedias y viviendas finales.

3.4.1.2. Toma de muestras

Siguiendo las recomendaciones de DIGESA (2015), para la toma de muestras se utilizaron frascos de vidrios de boca ancha con una capacidad de 500 ml previamente esterilizados.

Las mediciones de cloro en las conexiones domiciliarias se llevaron a cabo de la siguiente manera: en primer lugar, se desinfecto el grifo con alcohol al 96°, luego se procede a abrir el grifo durante 2 minutos para permitir que el agua que estaba estancada en el tramo de la tubería fluya, asegurando así una toma de muestra limpia. A continuación, el frasco se enjuaga con el agua del grifo, y luego se inclinó 45° para llenarla con el agua, finalmente se procederá a medir el cloro residual utilizando el medidor de cloro Hanna.

Asimismo, los datos de temperatura se descargaron de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de la Estación meteorológica: Pomabamba, identificado con Código: 108017, ubicado en el distrito y provincia de Pomabamba, en la región de Ancash, en las coordenadas 8°49'18.13"S 77°27'26.4"W a una altitud de 2985 msnm.

3.4.1.3. Procedimiento de medición con el medidor Hanna HI 701

Primero se enciende el medidor presionando el botón ubicado en la parte de adelante del dispositivo. Una vez que el dispositivo haya mostrado los segmentos y aparezca el "C1" seguido de "add" y luego el "Press" parpadeante indicará que se puede utilizar.

Se procede a llenar las dos celdas con 10 ml de la muestra y luego una se introduce en el medidor y se presiona el botón hasta que en la pantalla aparezca el "Add" y "C2" con "Press" parpadeante lo que indicará que el medidor está en cero.

En la otra celda se procede a añadir el reactivo DPD agitando con suavidad por 20 segundos, y una vez que el dispositivo indique el "C2" se retira la celda del medidor y se introduce esta celda con reactivo en el medidor, y se procede a mantener oprimido el botón hasta que se muestre un temporizador el que indica el tiempo que tardará dar los resultados.

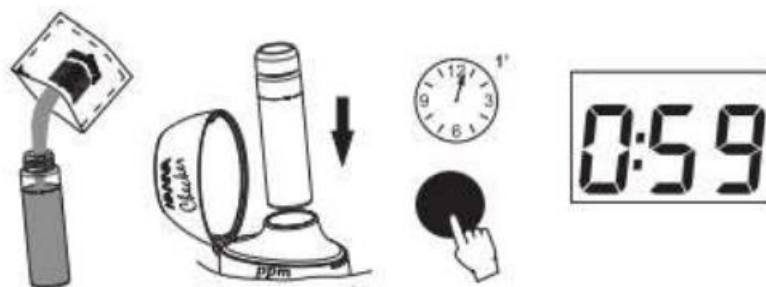


Figura 9. Medición del cloro residual con el medidor HI 701.

Asimismo, es importante verificar las celdas antes de ingresarlo al dispositivo se debe ver que esté seca libre de huellas dactilares y de suciedad. Además, se debe asegurar que no haya burbujas de aire dentro de las celdas esta se pueden liberar agitándolas ligeramente o golpeando suavemente la celda. Tras tomar la lectura con el medidor, se debe de desechar la muestra para evitar que las celdas queden manchadas de forma permanente.

3.4.2. Determinación de la relación del tiempo de duración de la solución de cloración en la concentración de cloro residual

Se procedió a medir el cloro residual en las conexiones domiciliarias según lo explicado anteriormente. Las mediciones se realizaron semanalmente en el horario de 8 a 10am.

Una vez obtenidas las mediciones semanales de cloro residual en las conexiones domiciliarias de agua potable durante todo el periodo de duración de la solución de cloración, se procedió a comparar estadísticamente si el tiempo de duración influye en la concentración de cloro residual. Para esto, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA), para determinar si existen diferencias significativas en las concentraciones de cloro residual en los diferentes tiempos de duración de la solución de cloración.

Para comparar estadísticamente lo mencionado en el párrafo anterior, Se utilizó el software IBM SPSS Statistics. Primero, se ingresaron las mediciones semanales en SPSS, donde el cloro residual fue la variable dependiente y el tiempo de duración de la solución de cloración fue la variable independiente. Luego, en el menú de Analyze, se seleccionó

Compare Means y One -Waty ANOVA, moviendo la concentración de cloro residual a la Dependent List y el tiempo de duración al factor. Se verificó la homogeneidad de varianzas en Options, seleccionando Homogeneity of variance test. Para comparar las medias entre los diferentes tiempos de duración, se realizó la prueba de post hoc de Tukey, el nivel de significancia fue de 0.05. Finalmente, se hizo clic en OK para ejecutar el análisis y se revisaron los resultados en SPSS, enfocándose en el valor de significancia para determinar diferencias significativas entre las medias de los grupos.

Para realizar lo mencionado en el párrafo anterior se tomó como variables: el tiempo de duración de la solución de cloración y las mediciones de cloro residual, en las repeticiones se consideró cada mes de evaluación. Como se muestra en la **Tabla 7**

Tabla 7. Variables para el análisis estadístico.

Unidad	Descripción
Variable dependiente	Cloro residual en los puntos de muestreo: Reservorio, vivienda inicial, vivienda intermedia y vivienda final.
Variable independiente	Tiempo de duración de la solución de cloración: día 1, día 8, día 15, día 22 y día 28.
Repeticiones	Meses de evaluación: 1 mes, 2 mes y 3 mes.

3.4.3. Comparación de los resultados cloro residual con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Los resultados obtenidos de la medición de cloro residual en la red de distribución de agua potable de Rutuna se contrastaron con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable

4.1.1. Determinación de los puntos de muestreo de cloro residual

Para determinar los puntos de muestreo, se inició con el reconocimiento y diagnóstico de la red de agua potable, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 8**. Se observó que la JASS está cumpliendo con las labores de mantenimiento, sin embargo, su sistema de agua potable ya tiene más de 20 años debido a ello tienen las estructuras un poco deterioradas, a sí mismo, por la geografía del terreno presenta exposición de las tuberías en algunos tramos de la red.

Tabla 8. Reconocimiento de la red de distribución de agua potable de Rutuna.

Componente	Detalles	Fotografía
Captación	Cuenta con un cerco perimétrico artesanal echa de calaminas y estacas de madera, cuenta con tapa sanitaria de metal, en general se mantiene limpio, pero la pintura se encuentra desprendiéndose	

Reservorio

El reservorio estructuralmente está en regular condición, ya que constantemente hacen su mantenimiento y limpieza, presenta pocas fisuras, respecto al cerco perimétrico es en base a tubos y enmallado de acero galvanizado y se encuentra en buen estado.

Su sistema de cloración es por goteo y se encuentra en buen estado, ya que fue implementado en el año 2019 por el ATM.

**Red de distribución**

Cuenta con CRP VII en buenas condiciones, aunque no cuentan con cerco perimétrico, hay tramos en los que la tubería está expuesta a la superficie.



La situación del sistema de agua potable puede afectar significativamente la calidad del agua distribuida y la eficiencia de la cloración. Rodríguez (2018) indica que la calidad del agua puede deteriorarse durante su recorrido desde el reservorio hasta los domicilios debido a los factores como los tiempos de permanencia del agua en la red y la reacciones con las paredes de las tuberías. En una red antigua como la de Rutuna, el deterioro estructural y la exposición de las tuberías pueden exacerbar estos problemas, resultando en una mayor pérdida de cloro residual y, por lo tanto, en una calidad de agua inferior (Paredes, 2022; Tuero y Huamaní, 2022). Asimismo, Inca y Ulloa (2018) y Aguilar (2015) también mencionan que la longitud de las tuberías y su estado influyen en la concentración de cloro residual, con una tendencia a disminuir a medida que el agua se aleja del punto de cloración.

Pérez y Ramos (2018) mencionan que la falta de mantenimiento adecuado y la capacitación insuficiente del personal son factores críticos que afectan negativamente la calidad del agua. En Rutuna, a pesar de que la JASS está cumpliendo con las labores de mantenimiento, la antigüedad del sistema y la exposición de las tuberías refleja una necesidad de mejorar para garantizar una calidad del agua. Además, Tzatchkov y Alcocer (2016) señalan el material de las tuberías influye significativamente en el decaimiento del cloro, sugiriendo tuberías antiguas y expuestas, pueden aumentar la demanda de cloro y acelerar su pérdida. Esto implica que es necesario el mejoramiento de la capacitación y el mantenimiento del sistema para asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad de agua.

En la **Tabla 9**, se muestran las coordenadas geográficas de los 22 puntos de muestreo seleccionadas de las 45 viviendas abastecidas por la red de distribución, además del reservorio, se abarco las viviendas iniciales, intermedias y finales de los cuatro ramales de la red de agua potable del Centro Poblado Rutuna.

Tabla 9. Clasificación de los puntos de muestreo.

Ramal	Puntos de muestreo	Distancia del reservorio (m)	Descripción	Código
	Reservorio	0	Reservorio	R
1	1	126	V. Inicial	V.I.
	3	226		
	5	311	V. Intermedia	V.Int.
	10	684		
	13	842	V. Final	V.F.
	16	902		
2	17	446	V. Inicial	V.I.
	19	542		
	21	714	V. Intermedia	V.Int.
	22	647		
	24	894	V. Final	V.F.
	29	983		
	27	967		
	30	1007		
3	39	570	V. Inicial	V.I.
	42	623	V. Intermedia	V.Int.
	43	702		
	45	765	V. Final	V.F.
4	31	858	V. Inicial	V.I.
	33	1062	V. Intermedia	V.Int.
	35	1262	V. Final	V.F.
	37	1377		

La distribución de los puntos de muestreo del presente estudio, explicada anteriormente busca representar de manera integral la variabilidad de la calidad del agua en todo el largo de la red. De acuerdo con Rodríguez (2018), es importante elegir los puntos a monitorear de cloro residual en sitios estratégicos, cómo es el punto de cloración y los extremos de la red. Asimismo, en los estudios realizados por Paredes (2023), Paredes (2022), García (2019) e Inca y Ulloa (2018) siguen esta metodología en la selección de sus puntos de muestreo, mencionan que así se permite una evaluación detallada de cómo varía la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución, asegurando que se identifiquen todas las posibles variaciones.

4.1.2. Medición de cloro residual en la red de distribución de agua potable

En la **Tabla 10**, se presentan los valores de cloro residual obtenidos durante el primer mes de estudio, del 18 de enero al 15 de febrero. En el reservorio, la concentración de cloro inició con: 2.17 mg/L el día 1 y disminuyó progresivamente hasta alcanzar 0.30 mg/L el día 28. De manera similar, en los ramales de la red de distribución, se observa una reducción continua del cloro residual con el tiempo. Los valores más altos se registraron el día 1, con concentraciones de cloro residual (mg/L) que oscilaron entre 1.66 y 1.85, mientras que para el día 15 las concentraciones disminuyeron a un rango de 0.50 a 0.77. Finalmente, el día 28 los valores de cloro residual (mg/L) variaron entre 0.07 y 0.25.

Tabla 10. Concentración promedio de cloro residual del primer mes: 18/01 – 15/02

Descripción	Cloro residual (mg/L)					
	DIA 1 T: 20°C	DIA 8 T: 24.6°C	DIA 15 T: 23.5°C	DIA 22 T: 23.8°C	DIA 28 T: 20.6°C	
Reservorio	2.17	1.15	0.83	0.54	0.30	
RAMAL 1	V. Inicial.	1.85	1.06	0.77	0.50	0.25
	V. Intermedia.	1.69	0.76	0.68	0.31	0.18
	V. Final.	1.66	0.65	0.57	0.24	0.08
RAMAL 2	V. Inicial.	1.75	0.79	0.59	0.35	0.20
	V. Intermedia.	1.73	0.69	0.55	0.29	0.13
	V. Final.	1.58	0.62	0.51	0.23	0.08
RAMAL 3	V. Inicial.	1.77	0.76	0.63	0.35	0.17
	V. Intermedia.	1.75	0.69	0.54	0.30	0.14
	V. Final.	1.73	0.69	0.50	0.27	0.11
RAMAL 4	V. Inicial.	1.80	0.68	0.50	0.25	0.10
	V. Intermedia.	1.76	0.60	0.51	0.22	0.09
	V. Final.	1.66	0.53	0.50	0.18	0.07

T: temperatura (°C)

Los valores del segundo mes de muestreo, comprendido entre el 18 de febrero al 17 de marzo, se muestran en la **Tabla 11**. Se puede apreciar que las concentraciones de cloro disminuyen a medida que avanzan los días y que la distancia de la vivienda al reservorio aumenta. El mayor valor de cloro residual fue de 2.45 en el reservorio el día 1. En el Ramal 1, el día 1 también presentó las concentraciones de cloro residual (mg/L) más altas en las viviendas iniciales intermedias y finales con 1.30, 1.08 y 0.96, respectivamente. En contraste, los menores valores de cloro residual (mg/L) fueron registrados en el Ramal 4 el día 28, con 0.16 en la vivienda inicial 0.20 en la conexión intermedia y 0.11 en la conexión final.

Tabla 11. Concentración promedio del cloro residual del segundo mes: 18/02 - 17/03

Descripción	Cloro residual (mg/L)				
	DIA 1 T: 24.7°C	DIA 8 T: 21.2°C	DIA 15 T: 23.6°C	DIA 22 T: 20.5°C	DIA 28 T: 23.2°C
Reservorio	2.45	2.15	1.68	0.61	0.29
RAMAL 1 V. Inicial.	1.30	0.99	0.64	0.45	0.25
V. Intermedia.	1.08	0.91	0.54	0.37	0.21
V. Final.	0.96	0.84	0.53	0.28	0.16
RAMAL 2 V. Inicial.	1.09	0.90	0.57	0.38	0.21
V. Intermedia.	1.01	0.84	0.53	0.34	0.20
V. Final.	0.93	0.82	0.51	0.22	0.15
RAMAL 3 V. Inicial.	1.07	0.87	0.55	0.39	0.23
V. Intermedia.	1.04	0.85	0.53	0.38	0.19
V. Final.	1.03	0.82	0.52	0.33	0.17
RAMAL 4 V. Inicial.	1.00	0.83	0.56	0.27	0.16
V. Intermedia.	0.98	0.80	0.55	0.17	0.12
V. Final.	0.95	0.80	0.50	0.16	0.11

T: temperatura (°C)

El tercer muestreo se realizó desde el 24 de marzo al 21 de abril, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 12**. Al igual que en los muestreos anteriores, se observa una tendencia de reducción de los valores de cloro residual conforme transcurre el tiempo y según la ubicación de las viviendas. Durante todo el mes de muestreo la vivienda inicial del Ramal 1 después del reservorio presentó los valores más altos de cloro residual seguida por la vivienda inicial del Ramal 2. El menor valor se registró en la vivienda final del Ramal 4 con un valor de cloro residual de 0.12 mg/L el día 28.

Tabla 12. Concentración promedio de cloro residual del tercer mes: 24/03 – 21/04

Descripción	Cloro residual (mg/L)				
	DIA 1 T: 25°C	DIA 8 T: 24.3°C	DIA 15 T: 21.4°C	DIA 22 T: 20.6°C	DIA 28 T: 20.4°C
Reservorio	2.67	2.05	1.60	1.46	0.41
RAMAL 1 V. Inicial.	1.22	0.80	0.59	0.54	0.36
V. Intermedia.	0.91	0.73	0.55	0.40	0.29
V. Final.	0.63	0.63	0.52	0.28	0.24
RAMAL 2 V. Inicial.	0.92	0.75	0.55	0.39	0.29
V. Intermedia.	0.76	0.67	0.52	0.32	0.26
V. Final.	0.58	0.60	0.51	0.25	0.20
RAMAL 3 V. Inicial.	0.87	0.75	0.54	0.37	0.27
V. Intermedia.	0.77	0.70	0.52	0.34	0.26
V. Final.	0.72	0.64	0.51	0.30	0.25
RAMAL 4 V. Inicial.	0.63	0.64	0.52	0.28	0.24
V. Intermedia.	0.56	0.56	0.52	0.24	0.17
V. Final.	0.54	0.54	0.50	0.23	0.12

T: temperatura (°C)

En la **Tabla 13**, se muestran las concentraciones promedio de cloro residual de la red de distribución de agua potable de Rutuna de 3 periodos de duración de la solución de cloración realizados durante el mes 1 (18/01– 15/02), mes 2 (18/02– 17/03) y mes 3 (24/03 – 21/04)

En el reservorio, para el cloro residual (mg/L) se registró un valor de 2.43 para el día 1, que disminuyó 1.37 para el día 15 y 0.33 para el día 28. En la red de distribución las viviendas iniciales tuvieron los más altos valores, seguido de las viviendas intermedias y por último las viviendas finales. De la misma manera, se observa una tendencia a la baja en los valores de cloro residual conforme avanza el tiempo y conforme a su ubicación respecto al reservorio

Para el día 1, las viviendas iniciales mostraron valores de cloro residual (mg/L) de 1.14 a 1.46; para el día 15, los valores variaron de 0.53 a 1.37; y para el día 28, de 0.17 a 0.33. En cuanto a las viviendas intermedias, el día 1 se registraron datos de 1.10 mg/L a 1.46 mg/L; para el día 15, entre 0.52 mg/L y 0.66mg/L; y el día 28, de 0.12mg/L a 0.28mg/L. Finalmente, las viviendas finales mostraron valores entre 1.05mg/L y 1.16 mg/L el día 1, entre 0.50 mg/L a 0.54 mg/L y de 0.10mg/L a 0.18mg/L el día 28.

Tabla 13. Concentración Promedio de cloro residual.

DESCRIPCIÓN	Distancia (\bar{m})	Cloro residual (mg/L)					Promedio	
		DIA 1 \bar{T} :23.2	DIA 8 \bar{T} :23.4	DIA 15 \bar{T} :22.8	DIA 22 \bar{T} :21.6	DIA 28 \bar{T} :21.4		
RESERVORIO	0	2.43	1.78	1.37	0.87	0.33	1.36	
RAMAL 1	V. Inicial.	176	1.46	0.95	0.66	0.50	0.28	0.77
	V. Intermedia.	498	1.23	0.80	0.59	0.36	0.23	0.64
	V. Final.	872	1.08	0.71	0.54	0.27	0.16	0.55
RAMAL 2	V. Inicial.	494	1.25	0.81	0.57	0.37	0.23	0.65
	V. Intermedia.	681	1.16	0.73	0.53	0.32	0.20	0.59
	V. Final.	963	1.03	0.68	0.51	0.23	0.14	0.52
RAMAL 3	V. Inicial.	570	1.24	0.79	0.57	0.37	0.22	0.64
	V. Intermedia.	663	1.19	0.75	0.53	0.34	0.20	0.60
	V. Final.	765	1.16	0.72	0.51	0.30	0.18	0.57
RAMAL 4	V. Inicial.	858	1.14	0.71	0.53	0.26	0.17	0.56
	V. Intermedia.	1062	1.10	0.65	0.52	0.21	0.12	0.52
	V. Final.	1320	1.05	0.62	0.50	0.19	0.10	0.49

\bar{m} : distancia promedio; \bar{T} :temperatura promedio (°C)

La **Figura 13**, presenta los valores promedios de cloro residual obtenidos durando los tres meses de muestreo. Se observa claramente que los valores de cloro residual disminuyen progresivamente con el transcurso de los días. Al inicio del periodo de

muestreo, el día 1, se registra un valor elevado de 2.43 mg/L. Sin embargo, a medida que avanzan los días, se evidencia una disminución continua de la concentración de cloro residual, alcanzando su valor más bajo el día 28, con un valor de 0.33 mg/L.

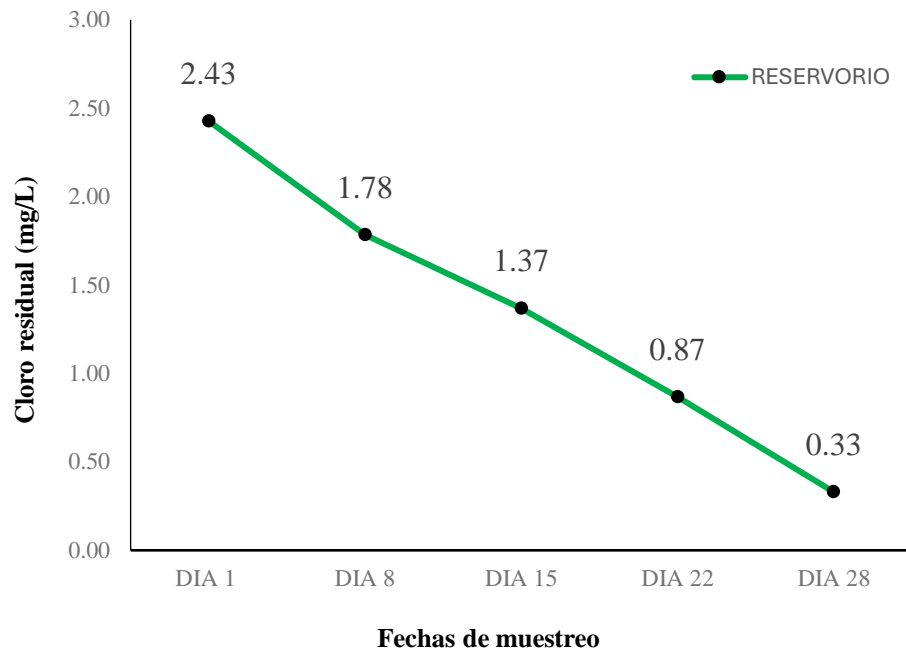
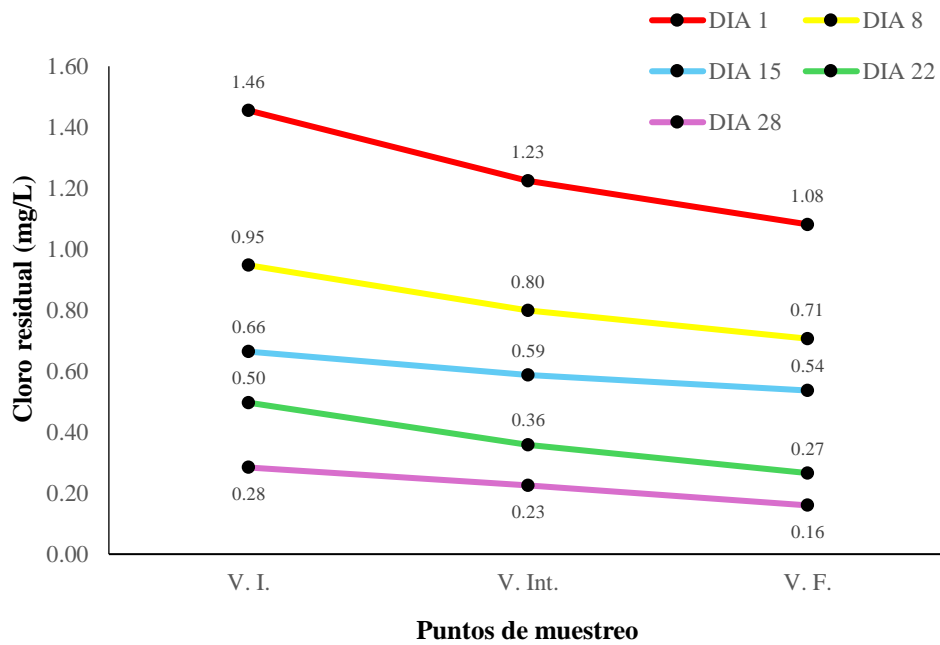


Figura 10. Concentración promedio de cloro residual en el reservorio.

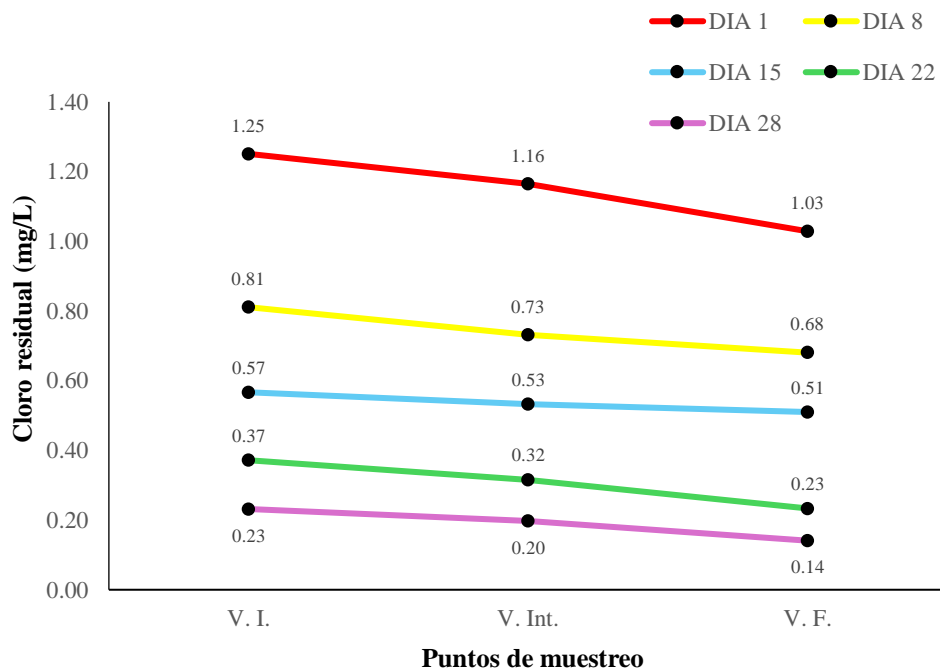
La **Figura 11**, muestra los resultados de cloro residual obtenidos en las viviendas del Ramal 1 de la red de distribución, se observa la tendencia de disminución de los valores según la distancia que tienen al reservorio, los valores más altos se registraron el día 1, vivienda inicial con 1.46 mg/L, la vivienda intermedia 1.23 mg/L y la vivienda final de 1.08 mg/L, asimismo, se observa el decaimiento del cloro a medida que transcurre el tiempo, la vivienda final en el 1 obtiene un valor de 1.08 mg/L mientras que el día 28 decae a un valor de 0.16 mg/L del cloro residual.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 11. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 1.

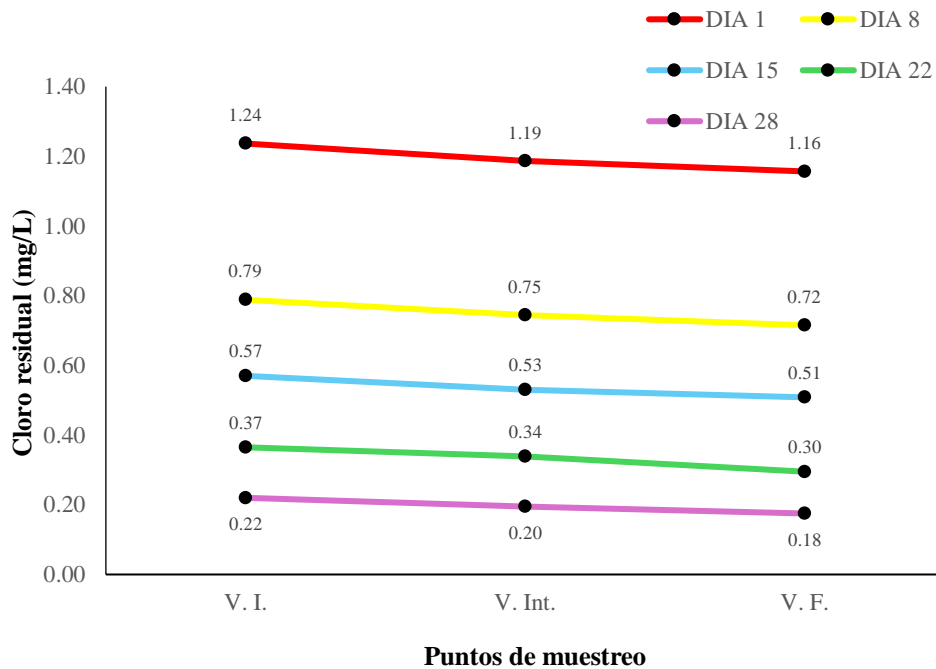
En la **Figura 12** , se muestran los valores promedios de cloro residual del Ramal 2 de la red de distribución, para el día 1 se obtuvo el valor promedio de cloro residual 1.25mg/L en la vivienda inicial decayendo hasta 1.03 mg/L en la vivienda final, el día 15 el mayor valor fue de 0.57mg/L y el menor de 0.51 mg/L y por último el día 28 se obtuvo valores de 0.23 mg/L a 0.14 mg/L.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 12. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 2.

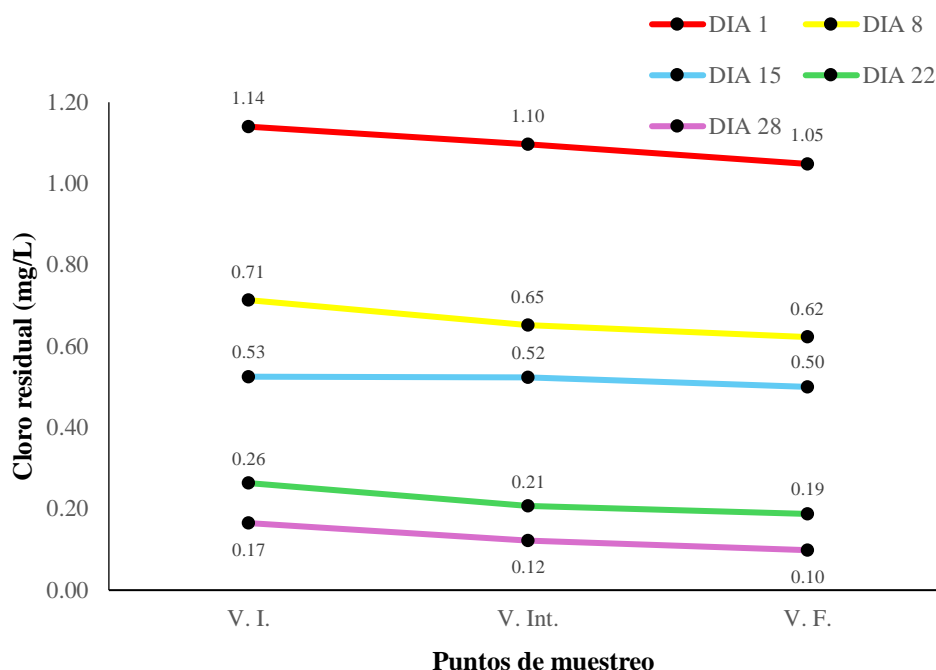
Los valores promedios de cloro residual del Ramal 3, se observan en la **Figura 13**, los valores más altos durante todo el tiempo de evaluación se registraron en las conexiones iniciales y los más bajos en las conexiones más alejadas al reservorio. Como en los demás ramales, en el día 1 se obtiene las concentraciones de cloro residual más altos registrando valores que van de 1.16mg/L a 1.24mg/L.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 13. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 3.

En la **Figura 14**, se observa los valores de cloro residual promedio obtenidos en el Ramal 4, el día 1 se registró un valor de 1.14 mg/L en la vivienda inicial decayendo a 1.05 mg/L en la vivienda final, para el día 28 se registraron los menores valores teniendo 0.17 mg/L mg/L en la conexión domiciliaria inicial. 0.12 mg/L en la conexión domiciliaria intermedia y 0.10 mg/L en la conexión domiciliaria final.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 14. Concentración promedio de cloro residual en el Ramal 4.

El cloro residual disminuye a lo largo de la red de distribución de agua en función a las reacciones del cloro en las tuberías y la masa del agua, lo que evidencia que hay un decaimiento del cloro residual debido a estos factores (Duarte, 2019; Nizama, 2019), por lo que viviendas más alejadas del reservorio presentan los niveles más bajos de cloro residual, asimismo, Aguilar (2015) demostró que la concentración del desinfectante presenta un comportamiento inversamente proporcional a la longitud de la tubería, observación que coincide con los resultados obtenidos en Rutuna y de varios estudios (García, 2019; Huayllani y Zevallos, 2021), lo que confirma que existe una variabilidad en los resultados de cloro residual en toda la extensión de la red de distribución.

El cloro residual disminuye significativamente desde el reservorio hasta las viviendas finales, Paredes (2022) encontró que las concentraciones iniciales altas de cloro residual en el reservorio disminuyen con la distancia, corroborando los resultados en Rutuna. Enciso (2019) y Landeo (2018) observaron que las viviendas finales tienen concentraciones más bajas debido a la longitud de la tubería, asimismo, refuerzan lo mencionado por los estudios de Pérez y Ramos (2018) y Tuero y Huamani (2022) cuyos resultados de cloro residual disminuyen significativamente según la distancia del punto de cloración.

Rodríguez (2018) menciona que la concentración de cloro residual varía según la ubicación del punto de abastecimiento, con mayores concentraciones cerca del reservorio y menores en las viviendas finales. Lo cual es consistente con los resultados

observados en Rutuna, donde las viviendas iniciales mostraron valores de cloro residual más altos que las viviendas intermedias y finales. Esta tendencia se observa en diversas investigaciones, como la de Paredes (2023) (R:1,80, V.I: 1.40, V.F: 0.58); Diaz y Ríos (2020) (R: 0.9-1, V.I: 0.8-0.9, V.int: 0.4-0.5 y V.F: 0.58) e Inca y Ulloa (2018) (R:1.78, V.I: 0.72-0.87, V.int: 0.36-0.66 y V.F: 0.00), se observa que las viviendas más alejadas del reservorio presentan los niveles más bajos de cloro residual, mostrando un modelo de distribución para entender las variaciones en los niveles de cloro a lo largo de la red.

4.2. Determinación de la relación del tiempo de duración de la solución de cloración en la concentración de cloro residual

Los datos de las mediciones de cloro residual cumplen con la distribución normal como se muestra en la **Tabla 14** . Al obtener el p-valor menor a 0.05, demuestra que existen diferencias significativas entre los datos, por ello se continua con la prueba Tukey que nos indica que en las mediciones semanales de cloro residual hay una reducción significativa entre todas las semanas como se demuestra en la **Tabla 15**.

Tabla 14. Análisis de la Varianza ANOVA.

F.V.	SC	ql	CM	F	p-valor
Modelo	45.21	4	11.30	145.57	<0.0001
Días	45.21	4	11.30	145.57	<0.0001
Error	26.40	340	0.08		
Total	71.60	344			

Tabla 15. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la concentración promedio de cloro residual respecto al tiempo.

Días	Medias	n	E.E.				
29	0.19	69	0.03	A			
22	0.33	69	0.03		B		
15	0.58	69	0.03			C	
8	0.79	69	0.03				D
1	1.22	69	0.03				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El análisis de varianza ANOVA y la prueba de Tukey indicaron una reducción significativa del cloro residual entre todas las semanas, de cuyos resultados se determina que la solución de cloración debe de prepararse para un periodo máximo de 15 días para asegurar el cumplimiento normativo.

Los valores de cloro residual disminuyen significativamente a lo largo del tiempo y la distancia desde el reservorio hasta las viviendas finales. Estudios de Paredes (2023)

y Rodríguez (2018) muestran que las concentraciones más altas se encuentran cerca del punto de cloración, reduciéndose en las zonas más alejadas debido a la longitud de la tubería y otros factores como la exposición a la radiación solar y la ubicación dentro de la vivienda (Enciso, 2019). Esta variabilidad muestra la importancia de una dosificación y gestión adecuadas de la solución de cloración para mantener los niveles de desinfección requeridos. Asimismo, Paredes (2022), sugiere que la frecuencia de preparación y dosificación de cloro debe ajustarse para mantener niveles adecuados de cloro residual.

En las investigaciones encontradas del cloro residual resaltan más la ubicación de las viviendas con respecto al reservorio, o el decaimiento del cloro residual por la reacción en la masa de agua y tubería, sin embargo, en sus evaluaciones no toman en cuenta el tiempo que tiene de preparado la solución de cloración que hacen uso en su sistema de agua, y tal como se comprobó en este estudio existe una disminución continua de la concentración de cloro residual desde el día 1 al día 28 (tiempo que dura la solución de cloración), afirmación que es respaldada por Pérez y Ramos (2018), en cuyos resultados de su estudio reportan valores de cloro residual de 0.37mg/L a 0.13 mg/L en la primera quincena del primer mes y 0.31 – 0 mg/L en la segunda quincena; en el segundo mes, los valores mínimos fluctuaron entre 0.39 – 0.11 mg/L y 0.36 – 0.09 mg/L, considerando que la solución de cloración se preparaba cada mes, se observa la diferencia entre los datos cada quincena del mes. Este estudio subraya la variabilidad del cloro residual libre en cada vivienda y resalta la influencia del tiempo de monitoreo quincenal en estas variaciones.

Lantagne et al. (2011) menciona que las soluciones de hipoclorito tienden a degradarse rápidamente una vez preparadas, en los resultados de la presente investigación, se observó que los valores de cloro residual disminuyen significativamente con el tiempo de almacenamiento de la solución de cloración, específicamente, hubo una reducción del 84.4% de cloro residual al día 28. Este comportamiento es consistente con el estudio de Rojas y Guevara (2000), quienes encontraron que el tiempo de almacenamiento tiene un efecto inverso en la cantidad de cloro disponible en soluciones de hipoclorito, de manera similar, Rutala y Weber (2019) respaldan estos resultados mencionando que las soluciones de hipoclorito pierden hasta el 50% de su contenido de cloro libre en 30 días cuando se almacenan a 25°C en contenedores opacos y cerrados, lo que respalda la observación de una reducción significativa de cloro residual en Rutuna.

La solución de hipoclorito de calcio (solución de cloración) que se prepara en Rutuna, se almacena en un tanque oscuro en la caseta de cloración con techo que la protege de

la exposición directa a la luz solar, sin embargo aun así se presentó una pérdida significativa de cloro residual con el paso del tiempo, ante ello, Mejía y Rodolfo (2023) mencionan que la exposición a la luz, es especial a la luz solar, tiene un impacto notable en la estabilidad del hipoclorito ya que la estabilidad del cloro se ve significativamente afectada cuando las soluciones están expuestas a la luz solar en contenedores translucidos, pero esta descomposición se puede reducir utilizando contenedores opacos, por su parte, AEAS (2020) también destaca que la luz es uno de los factores clave que condicionan la estabilidad del hipoclorito, junto con la temperatura y el pH. López y Zavala (2020) también señalan que para mantener una concentración constante de cloro activo y minimizar la pérdida, es esencial almacenar las soluciones en un lugar oscuro y en envases con tapa hermética, todos ellos coinciden en que la luz afecta la estabilidad del cloro y que protegiéndolos se puede mitigar o reducir, mas no se puede evitar que el contenido de cloro libre se llegue a reducir una vez preparadas en soluciones (Rutala y Weber, 2019).

La temperatura de almacenamiento es otro factor crítico que influye en la estabilidad del hipoclorito. Según AEAS (2020), la temperatura elevada facilita la descomposición del hipoclorito, lo que requiere un control riguroso para evitar pérdidas significativas de cloro activo. Gómez (2018) también indica que las bajas temperaturas de almacenamiento reducen considerablemente la descomposición del hipoclorito. Cáceres (1990) señala que la solución de hipoclorito de calcio permanece estable durante dos o tres semanas sin se mantiene a temperaturas inferiores a 26°C y se protege de la luz. Coincidiendo con Carlotto et al. (2016) quien afirma que el hipoclorito se mantiene estable a 25°C por 30 días. Por lo que se puede inferir que en otro escenario con mayor temperatura el cloro residual se reduciría más rápido que en el Centro Poblado de Rutuna cuya temperatura no supero los 25°C.

La literatura científica proporciona varios modelos matemáticos que conceptualmente explican el comportamiento de desinfectantes en cuerpos de agua. (CNA, 2018). El modelado de simulación matemática facilita la planificación, operación y gestión de las redes de agua potable cuando se realiza correctamente. (Gutiérrez y Domínguez, 2023), además permite evaluar el comportamiento del desinfectante en toda la red y determinar la dosificación óptima de cloro, lo que conlleva a una mejor gestión de la calidad del agua en el sistema de abastecimiento (Paco y Pizarro, 2022). En diversos estudios (García, 2019; Inca y Ulloa, 2018), a través de un modelamiento del cloro determinan la dosis óptima de cloro con resultados de cloro residual en la red que cumplen con la normativa, asimismo, Nizama (2019), menciona que es posible elaborar un modelo que describa la variación del desinfectante en

todos las viviendas de una red de agua potable; con los datos obtenidos en este estudio es posible elaborar una simulación del comportamiento del cloro residual a lo largo de toda la red de distribución y podría utilizarse como una herramienta para optimizar la desinfección del agua en el Centro Poblado Rutuna.

4.3. Comparación de los resultados de cloro residual con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

El D.S. N° 031-2010-SA menciona que la concentración de cloro residual en el reservorio tiene que ser como mínimo de 1mg/L, en el reservorio del Centro Poblado Rutuna cumple hasta el día 15, sin embargo, para el día 22 y 28 decae por debajo de 1 mg/L con valores de 0.87mg/L y 0.33 mg/L, respectivamente, tal como se puede observar en la **Figura 15**.

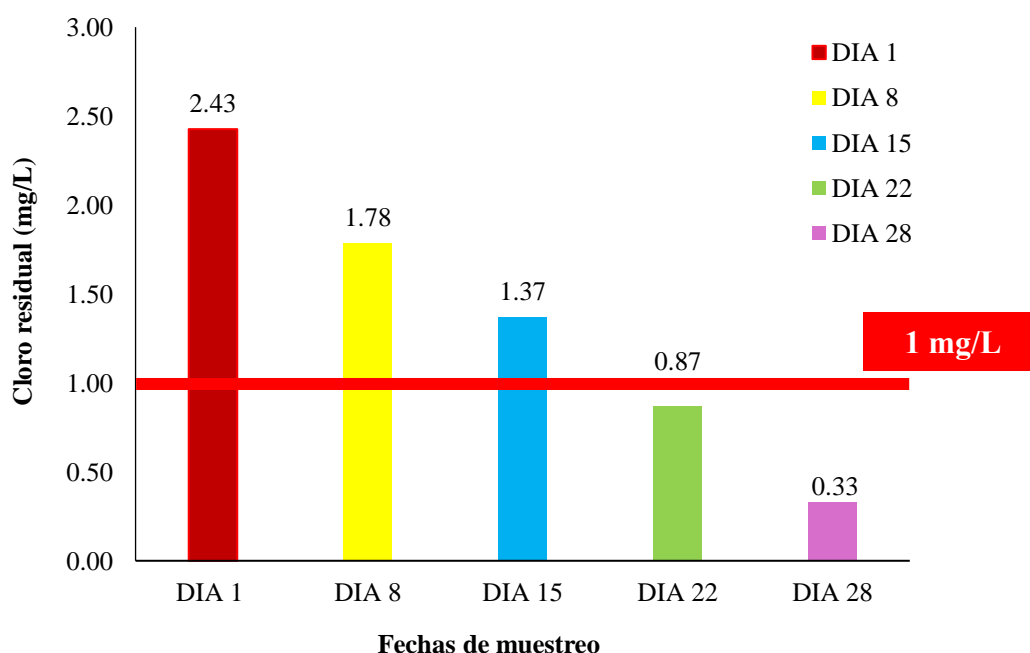
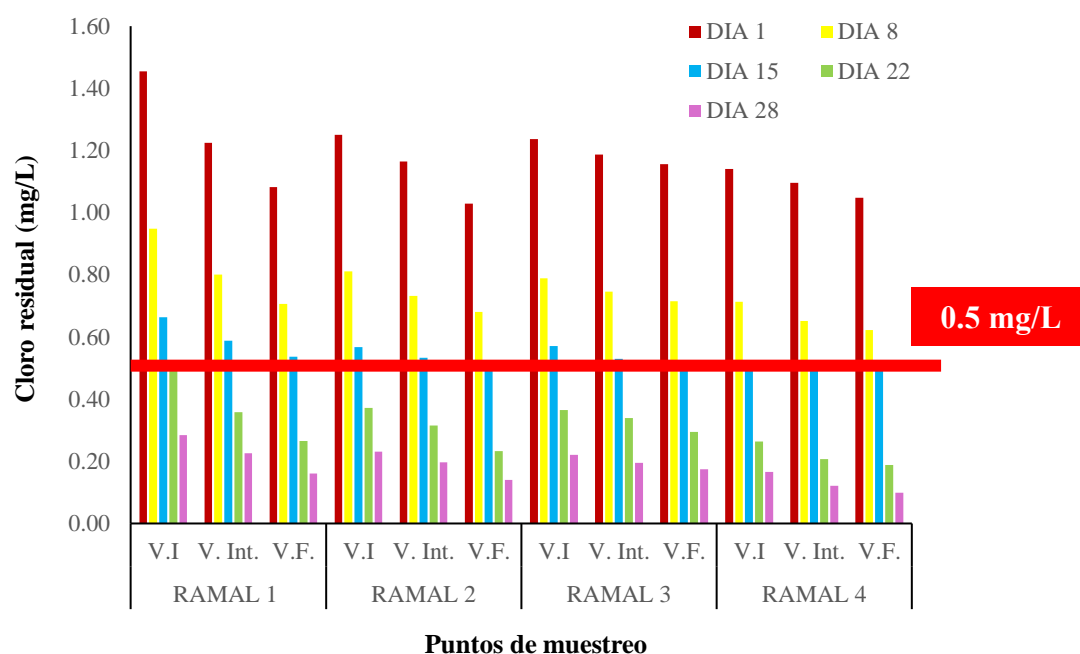


Figura 15. Límite Máximo Permissible para el cloro residual promedio del reservorio.

En el D.S. N° 031-2010-SA mencionan que el cloro residual en las tomas domiciliarias debe de estar en el rango de 0.50 mg/L – 5 mg/L, el 61.7% de las muestras cumplen con lo mencionado, mientras que el 30.4% de las muestras supera el 0.30 mg/L. resultando que solo el 73.3% del total de las muestras cumplen con la normativa.

Asimismo, se observa que el 95.7% de las muestras que no cumplen con la normativa son a partir del día 22 con valores inferiores de lo que indica la normativa. Tal como se observa en la **Figura 16**.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 16. Límite Máximo Permissible para el cloro residual promedio de la red de distribución.

La normativa del Ministerio de Salud del Perú establece que el cloro residual debe de mantenerse entre 0.5mg/L y 5 mg/L para asegurar la eliminación de los patógenos. En Rutuna, solo el 73.3% de las muestras cumplen con esta normativa, con un alto porcentaje de muestras no conformes a partir del día 22. Este incumplimiento destaca la importancia de preparar la solución de cloración para un periodo adecuado y ajustar la frecuencia de preparación (Pérez y Ramos, 2018; Enciso, 2019). La gestión precisa y regular de la solución de cloración es esencial para mantener la eficiencia de la desinfección y asegura que los niveles de cloro residual cumplan con lo establecido en la norma a lo largo del tiempo y la distancia.

En diversos estudios (Paredes, 2022; Díaz y Ríos, 2020; García, 2019; Inca y Ulloa, 2018) los valores de cloro residual que no se encuentran dentro del rango establecido en el D.S. N° 031-2010-SA, son las viviendas finales, en otros estudios (Huallayni y Zevallos, 2021; Pérez y ramos, 2018); los valores de cloro residual no se cumplen en toda la red, en el presente estudio, los valores inferior a 0.5mg/L son a partir del día 22 y en todos los puntos de muestreo tanto reservorio como en las viviendas iniciales, intermedias y finales (a excepción de la V.I. del Ramal 1), pero los días anteriores el cumplimiento de la norma se da en toda la red de distribución, por lo que puede inferir que la dosificación de cloro en el Centro Poblado de Rutuna es la correcta.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna, registrando en su totalidad del muestreo la presencia de cloro residual.
2. El tiempo de duración de la solución de cloración tiene una relación inversamente proporcional con la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable
3. Se comparo los resultados de cloro residual con los LMP establecidos en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano el D.S. N° 031-2010-SA
4. Se afirma la hipótesis planteada, la concentración de cloro residual a partir de los quince días disminuye por debajo del valor mínimo establecido en la normativa.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se recomienda preparar la solución de cloración para un periodo máximo de 15 días, para así garantizar el cumplimiento de la normativa y la calidad de agua potable.
2. Se recomienda gestionar o adquirir un colorímetro para la medición de cloro residual, asimismo, establecer un programa de monitoreo continuo, de esta manera se puede monitorear de forma permanente y evitar tener concentraciones fuera de los rangos establecidos en la normativa.
3. Se sugiere que en futuras investigaciones relacionadas al cloro residual se toma en cuenta el tiempo de duración de la solución de cloración, puesto que se determinó que conforme avanzan los días la concentración de cloro residual disminuye.
4. Se sugiere, tanto para el centro poblado de Rutuna, como para otros centros poblados, que el tiempo de monitoreo post preparación de solución de cloración debe ser después de 15 días, para así garantizar que el cloro siga teniendo el efecto desinfectante y cumpliendo con el cloro residual.
5. Se recomienda que la solución de cloración debe ser almacenada en un tanque oscuro y con tapa hermética en buenas condiciones además de estar dentro de una caseta de cloración debidamente techada y tapada para ser protegida de la luz solar.
6. Se recomienda tanto para la preparación de la solución de cloración, como para el mantenimiento del sistema de agua potable de Rutuna, seguir la metodología explicada en el "Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural".
7. Gestionar o adquirir las herramientas, equipos, insumos y equipos de protección personal necesarios para que el operador de la JASS de Rutuna realice de una manera adecuada y segura el proceso de preparación de la solución de cloración.
8. Se sugiere la implementación de programas de capacitaciones regulares para el personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema, enfocándose en la correcta dosificación de cloro y monitoreo de la calidad del agua, asimismo, para la población se sugiere campañas de sensibilización sobre la importancia del agua potable y prácticas de higiene, para fomentar el uso responsable del recurso.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2015). *Modelación para evaluar cloro residual en la Red principal del Sistema de Agua potable de Buena Vista, cantón Pasaje, Provincia de El Oro*. [Tesis de título profesional, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio digital UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2927>
- Alcocer, V., Tzatchkov, V., y Arreguín, F. (2015). *Modelo de calidad del agua en redes de distribución*. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 19(2), 77-88. Recuperado a partir de <http://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1001>
- Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento. (2020). Control de cloratos en el tratamiento. Comisión 2ª Calidad y Tratamiento del Agua. 4. https://www.aeas.es/images/Doc_Manu_Guia/RECOMENDACIONES_CONTROL_DE_CLORATOS.pdf
- Cáceres, O. 1990. Desinfección del agua. Ministerio de Salud.
- CAÑERO, J. L. (2016). Fontanería y calefacción básica. Ediciones Paraninfo, S.A
- Carlotto, I., Luisi, S., Kopper, P., Grecca, F., y Montagner, F. (2016). Calcium hypochlorite solutions: evaluation of surface tension and effect of different storage conditions and time periods over pH and available chlorine content. *Journal of endodontics*, 42(4), 641-645.
- Castillo, M., y Medina, R. 2019. *Evaluación de la temperatura y tiempo de reacción en la producción de hipoclorito de calcio*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6050>
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2018). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro13.pdf>
- Chulluncuy, N. C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Ingeniería Industrial. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>

- D.S. N° 031-2010-SA. [Ministerio de Salud]. Por lo cual se establecen las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano. 26 de setiembre de 2010. Ministerio de Salud.
- D.S. N° 1280. [Ministerio del Ambiente]. Por lo cual se establecen la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento. 29 de diciembre del 2016.
- Díaz, E., y Ríos, A. (2020). *Determinación de cloro residual en agua de consumo humano del centro poblado La Palma, distrito San Bernardino, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23891>
- Duarte, F. (2019). *Calidad del agua para consumo humano en el proceso de captación, tratamiento, distribución y consumo en el cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi*. [Tesis de título profesional, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio UTEQ. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3730>.
- Enciso, N. (2019). *Seguimiento de la concentración de cloro residual en tanque en tanque de almacenamiento, red de distribución y tanques residenciales en el municipio de Fortul, departamento de Arauca*. [Tesis de título profesional, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/540
- Fustamante, N., y Programa PROAGUA. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Perú: Cooperación Alemana al Desarrollo. 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
- García, F. (2019). *Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3845>
- Gómez, C. 2018. *Evaluación in vitro de la eficacia antimicrobiana del Hipoclorito de Calcio al 2,5% y el Hipoclorito de Sodio al 2,5% sobre un Biofilm de Enterococcus faecalis y Candida albicans*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/6313>

- Guanuchi, C., y Ordoñez, J. (2017). *Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del Canton Azogues a través de un modelo experimental*. [Tesis de título profesional, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28012>
- Gutierrez, E., y Dominguez, A. (2023). *Modelamiento de la concentración de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui*. [Tesis de título profesional, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6526>
- Huaman, J., y Contreras, I. (2020). *Evaluación del cloro residual libre en el centro poblado de Santa Rosa de Ccochapampa, distrito de Anchonga – Huancavelica*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3395>
- Huanay, M. (2021). *Calidad de agua para consumo humano del sistema de abastecimiento del centro poblado Las Palmeras, distrito de Churubamba, provincia y departamento de Huánuco, 2020*. [Tesis de título profesional, Universidad de Huánuco]. Repositorio UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2942>.
- Huayllani, N y Zevallos, A. (2021). *Relación entre el cloro total y residual del sistema de agua potable en la ciudad de Huancavelica – 2021*. [Tesis de título profesional, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio digital institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65317>.
- Inca, H., y Ulloa, S. (2018). *Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo - Santiago de Chuco* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNT. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11447>
- Landeo, A. (2018). *Relación de los métodos por goteo y la eficacia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1698>

- Lantagne, D., Preston, K., Blanton, E., Kotlarz, N., Gezagehn, H., Van Dusen, E., y Jellison, K. (2011). Hypochlorite solution expiration and stability in household water treatment in developing countries. *Journal of Environmental Engineering*, 137(2), 131-136.
- Mejía, R. y Mercado, A. (2023). Evaluación de la estabilidad de los productos usados para la cloración del agua como método de desinfección en la EPSA AUAP de la población de El Paso, Cochabamba. 14. 46.
- MVCS. (2022). *DATASS* - Modelo para la toma de decisiones en saneamiento. <https://datass.vivienda.gob.pe/>
- Paco, J., y Pizarro, A. (2022). *Propuesta de modelamiento hidráulico en la calidad del agua potable del circuito R-29 para la evaluación del cloro libre residual, distrito de Alto Selva Alegre, provincia de Arequipa, región de Arequipa*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/14184>
- Paredes, M. (2023). *Evaluación de la dosificación de cloro en la eliminación bacteriana del sistema de agua potable del Centro poblado Supte San Jorge, 2023*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2644>
- Paredes, B. (2022). *Efectos de los sistemas de cloración por goteo en la concentración de cloro residual del agua potable en zonas rurales*. [Tesis de título profesional, Universidad Peruana de los Andes]. Repositorio institucional UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4940>.
- Pérez, E., y Ramos Castellanos, G. (2018). *Dosis de cloro y cloro residual libre en el sistema de agua potable del sector de Puyhúan Grande del distrito y provincia de Huancavelica, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2181>
- Nicoletti, M., y Fernandes, J. (1996). Influencia del envase y de factores ambientales en la estabilidad de la solución de hipoclorito sódico. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*; 121 (4), oct. 1996.
- Nizama, J. (2019). *Determinación del decaimiento de cloro con reacción de la masa de agua en tuberías de la red de distribución de agua potable en la localidad de San Miguel de Monterrey, distrito de Independencia, Huaraz, Ancash*. [Tesis de título profesional,

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3634>

R.D. N° 160-2015/DIGESA/SA. [Ministerio de Salud]. *Por lo cual se establece el protocolo de procedimientos para toma de muestra, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano*. 24 de setiembre del 2015. Ministerio de Salud.

Rodríguez, Y. (2018). *Modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de La Rioja, provincia de Rioja para determinar la calidad microbiológica, 2017*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto]. Repositorio institucional de la UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3441>.

Rutala, W., y Weber, D. (2019). Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, 2008. update: May 2019.

Sobrino, E. (2018). *El desarrollo del turismo en espacios rurales: Estudio y análisis del potencial ecoturístico como alternativa de desarrollo en el distrito de Pomabamba, departamento de Ancash*. [Tesis de título profesional, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13317>

Su, Y. S., Morrison III, D. T., & Ogle, R. A. (2009). Chemical kinetics of calcium hypochlorite decomposition in aqueous solutions. *Journal of Chemical Health & Safety*, 16(3), 21-25.

Supo, J. (2023, abril 2). Niveles de investigación. Bioestadístico. <https://bioestadistico.com/niveles-de-investigacion>

Tuero, D., y Huamani, K. (2022). *Simulación de cloro residual mediante el software Watercad en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021*. [Tesis de título profesional, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12129>

ANEXOS

Anexo A. Detalle del muestreo de cloro residual en la red de distribución de agua potable

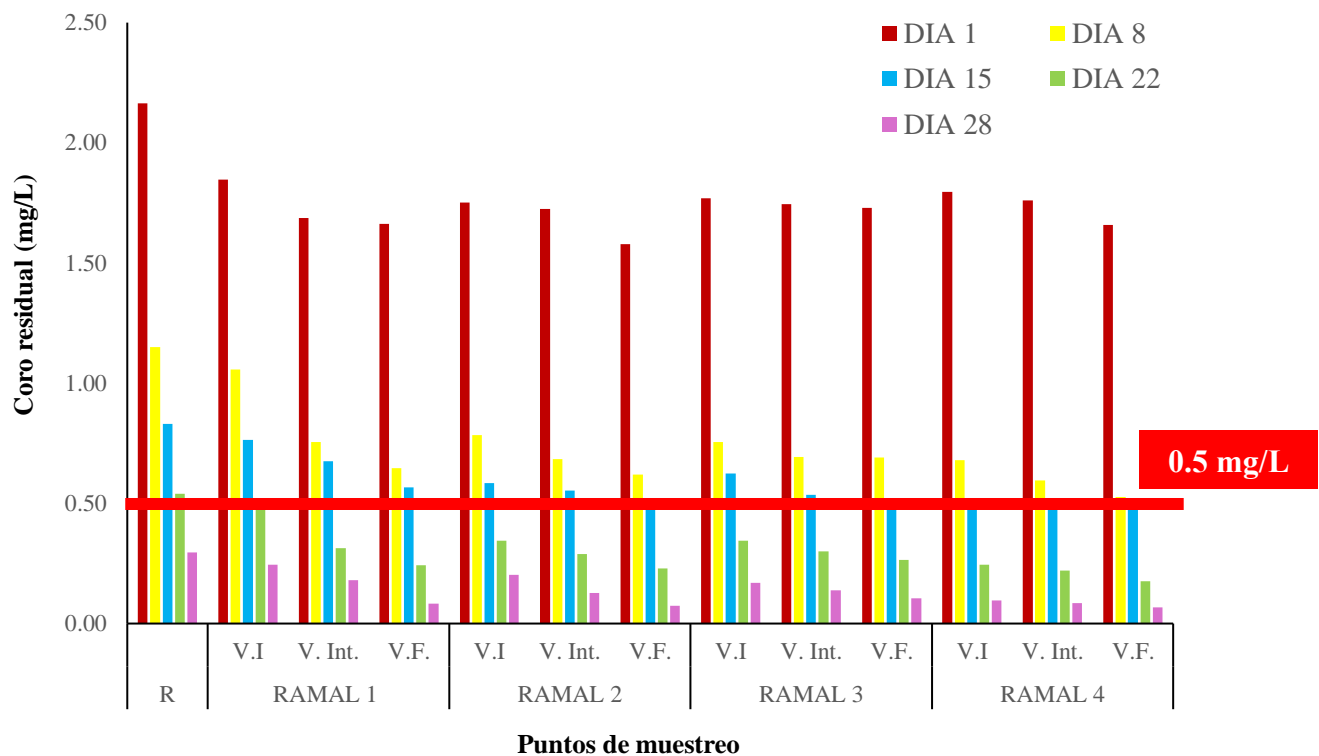
Tabla 16. Datos del muestreo de cloro residual del primer mes.

DESCRIPCIÓN	1° MEDICIÓN: 18/01 T: 20°C			2° MEDICIÓN: 25/01 T: 24.6°C			3° MEDICIÓN: 01/02 T: 23.5°C			4° MEDICIÓN: 08/02 T: 23.8°C			5° MEDICIÓN: 15/02 T: 20.6°C			
	PUNTO DE MUESTREO	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)
RESERVORIO		2.1	2.23	2.17	1.12	1.18	1.15	0.81	0.85	0.83	0.55	0.53	0.54	0.31	0.28	0.30
RAMAL 1	1	1.95	1.93	1.94	1.04	1.09	1.07	0.76	0.79	0.78	0.5	0.52	0.51	0.26	0.29	0.28
	3	1.75	1.76	1.76	1.00	1.10	1.05	0.74	0.77	0.76	0.48	0.49	0.49	0.2	0.23	0.22
	5	1.73	1.7	1.72	0.8	0.83	0.82	0.72	0.75	0.74	0.33	0.36	0.35	0.21	0.21	0.21
	10	1.65	1.67	1.66	0.69	0.70	0.70	0.63	0.60	0.62	0.27	0.29	0.28	0.15	0.15	0.15
	13	1.65	1.66	1.66	0.67	0.69	0.68	0.59	0.56	0.58	0.25	0.25	0.25	0.07	0.11	0.09
	16	1.68	1.66	1.67	0.63	0.6	0.62	0.55	0.57	0.56	0.25	0.22	0.24	0.07	0.08	0.08
RAMAL 2	17	1.76	1.74	1.75	0.79	0.78	0.79	0.59	0.62	0.61	0.39	0.36	0.38	0.21	0.20	0.21
	19	1.75	1.76	1.76	0.77	0.8	0.79	0.55	0.58	0.57	0.3	0.33	0.32	0.18	0.22	0.20
	21	1.75	1.76	1.76	0.71	0.68	0.70	0.55	0.56	0.56	0.29	0.27	0.28	0.14	0.16	0.15
	22	1.68	1.71	1.70	0.68	0.67	0.68	0.56	0.54	0.55	0.29	0.31	0.30	0.09	0.12	0.11
	24	1.68	1.70	1.69	0.64	0.70	0.67	0.51	0.56	0.54	0.25	0.27	0.26	0.08	0.10	0.09
	29	1.51	1.54	1.53	0.62	0.65	0.64	0.52	0.52	0.52	0.22	0.25	0.24	0.07	0.09	0.08
	27	1.54	1.56	1.55	0.59	0.61	0.60	0.48	0.51	0.50	0.20	0.21	0.21	0.06	0.09	0.08
	30	1.55	1.54	1.55	0.56	0.59	0.58	0.48	0.51	0.50	0.20	0.23	0.22	0.05	0.06	0.06
RAMAL 3	39	1.78	1.76	1.77	0.74	0.77	0.76	0.64	0.61	0.63	0.36	0.33	0.35	0.16	0.18	0.17
	42	1.76	1.74	1.75	0.72	0.73	0.73	0.55	0.55	0.55	0.32	0.33	0.33	0.14	0.16	0.15
	43	1.74	1.74	1.74	0.68	0.64	0.66	0.53	0.51	0.52	0.26	0.29	0.28	0.11	0.14	0.13
	45	1.72	1.74	1.73	0.68	0.7	0.69	0.51	0.48	0.50	0.25	0.28	0.27	0.09	0.12	0.11
RAMAL 4	31	1.80	1.79	1.80	0.64	0.72	0.68	0.48	0.51	0.50	0.23	0.26	0.25	0.10	0.09	0.10
	33	1.77	1.75	1.76	0.58	0.61	0.60	0.51	0.51	0.51	0.20	0.24	0.22	0.09	0.08	0.09
	35	1.80	1.79	1.80	0.52	0.55	0.54	0.49	0.51	0.50	0.21	0.20	0.21	0.09	0.07	0.08
	37	1.52	1.52	1.52	0.51	0.53	0.52	0.49	0.51	0.50	0.14	0.15	0.15	0.06	0.05	0.06

1° y 2°: repeticiones en la toma de datos de cloro residual (mg/L)

En la **Tabla 16** se muestran los resultados de cloro residual obtenidos durante el primer mes de muestreo, por cada fecha se tomaron 2 repeticiones y se procedió a sacar el promedio; las celdas de color verde representan los datos cuyos valores están cumpliendo con la normativa, y en rojo aquellos que están por debajo.

La comparación de los resultados de cloro residual del primer mes de muestreo con los LMP establecidos en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano se muestran en la **Figura 17**, se observa que los valores en todos los ramales de la red de distribución a partir del día 22 están por debajo de lo indicado en la norma, a excepción de la vivienda 1 del Ramal 1 (0.51mg/L).



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 17. Concentración de cloro residual del primer mes de muestreo.

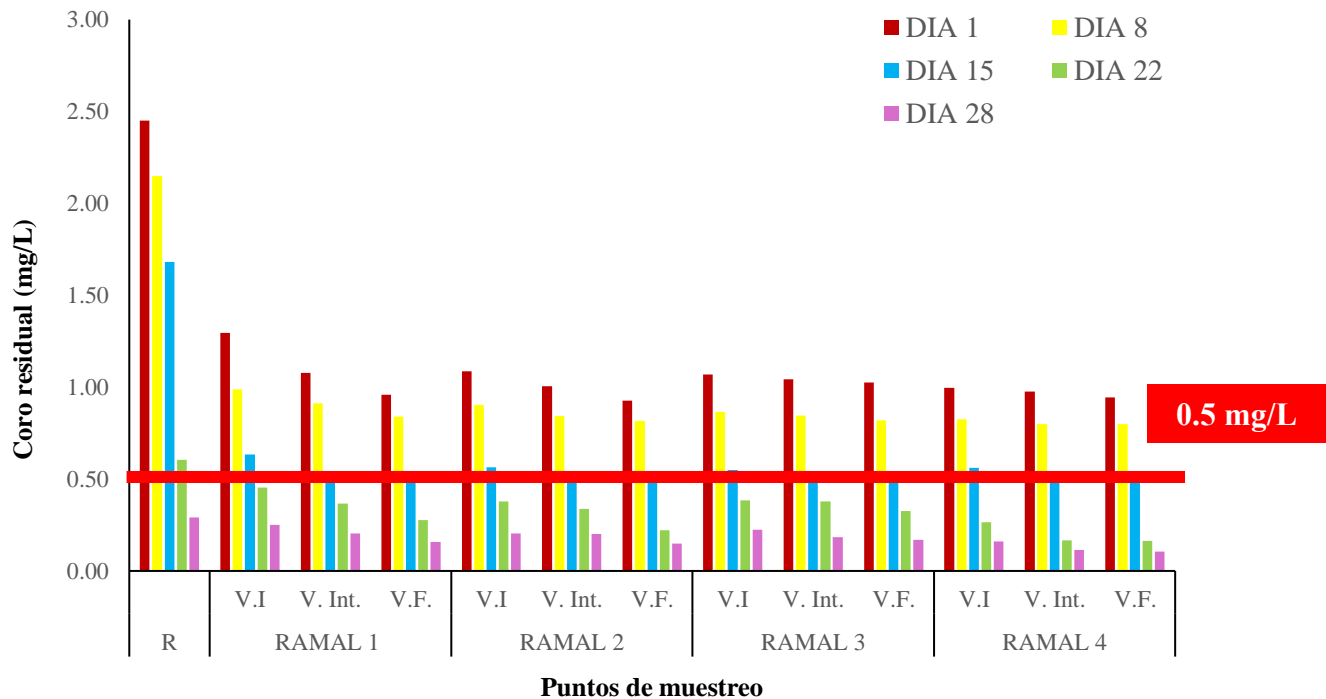
Tabla 17. Datos del muestreo de cloro residual del segundo mes.

DESCRIPCIÓN	1° MEDICIÓN: 18/02 T: 24.7°C			2° MEDICIÓN: 25/02 T: 21.2°C			3° MEDICIÓN: 03/03 T: 23.6°C			4° MEDICIÓN: 10/03 T: 20.5°C			5° MEDICIÓN: 17/03 T: 23.2°C			
	PUNTO DE MUESTREO	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)
RESERVORIO		2.40	2.50	2.45	2.10	2.20	2.15	1.70	1.66	1.68	0.58	0.63	0.61	0.28	0.30	0.29
RAMAL 1	1	1.31	1.32	1.32	1.01	1.00	1.01	0.61	0.71	0.66	0.45	0.47	0.46	0.25	0.26	0.26
	3	1.29	1.26	1.28	0.97	0.97	0.97	0.6	0.62	0.61	0.46	0.43	0.45	0.24	0.25	0.25
	5	1.12	1.14	1.13	0.94	0.97	0.96	0.56	0.60	0.58	0.37	0.41	0.39	0.21	0.22	0.22
	10	1.01	1.04	1.03	0.86	0.88	0.87	0.49	0.52	0.51	0.34	0.35	0.35	0.18	0.21	0.20
	13	0.95	0.98	0.97	0.87	0.85	0.86	0.52	0.55	0.54	0.32	0.30	0.31	0.18	0.15	0.17
	16	0.93	0.97	0.95	0.81	0.83	0.82	0.51	0.52	0.52	0.24	0.25	0.25	0.14	0.16	0.15
RAMAL 2	17	1.10	1.13	1.12	0.92	0.90	0.91	0.56	0.57	0.57	0.38	0.4	0.39	0.19	0.22	0.21
	19	1.04	1.07	1.06	0.88	0.91	0.90	0.55	0.58	0.57	0.35	0.38	0.37	0.21	0.20	0.21
	21	0.99	1.02	1.01	0.83	0.84	0.84	0.51	0.54	0.53	0.36	0.34	0.35	0.18	0.20	0.19
	22	0.99	1.02	1.01	0.84	0.86	0.85	0.53	0.54	0.54	0.32	0.33	0.33	0.22	0.21	0.22
	24	0.94	0.96	0.95	0.81	0.84	0.83	0.51	0.52	0.52	0.26	0.25	0.26	0.15	0.17	0.16
	29	0.95	0.92	0.94	0.85	0.80	0.83	0.48	0.53	0.51	0.18	0.22	0.20	0.14	0.17	0.16
	27	0.93	0.90	0.92	0.85	0.78	0.82	0.53	0.50	0.52	0.24	0.25	0.25	0.13	0.16	0.15
	30	0.90	0.91	0.91	0.81	0.80	0.81	0.49	0.52	0.51	0.17	0.21	0.19	0.14	0.14	0.14
RAMAL 3	39	1.06	1.08	1.07	0.85	0.88	0.87	0.54	0.56	0.55	0.37	0.4	0.39	0.23	0.22	0.23
	42	1.05	1.07	1.06	0.88	0.85	0.87	0.52	0.55	0.54	0.40	0.44	0.42	0.17	0.21	0.19
	43	1.01	1.04	1.03	0.81	0.84	0.83	0.52	0.54	0.53	0.32	0.35	0.34	0.17	0.19	0.18
	45	1.02	1.03	1.03	0.81	0.83	0.82	0.54	0.50	0.52	0.31	0.34	0.33	0.16	0.18	0.17
RAMAL 4	31	0.99	1.00	1.00	0.81	0.84	0.83	0.54	0.58	0.56	0.25	0.28	0.27	0.15	0.17	0.16
	33	0.99	0.96	0.98	0.78	0.82	0.80	0.53	0.56	0.55	0.17	0.16	0.17	0.12	0.11	0.12
	35	0.98	0.95	0.97	0.82	0.78	0.80	0.49	0.51	0.50	0.15	0.18	0.17	0.11	0.11	0.11
	37	0.93	0.92	0.93	0.79	0.81	0.80	0.50	0.50	0.50	0.17	0.15	0.16	0.1	0.1	0.10

1° y 2°: repeticiones en la toma de datos de cloro residual (mg/L)

El segundo mes de muestreo llevado a cabo del 18 de febrero al 17 de marzo cuyos resultados se muestran en la **Tabla 17**, se diferencia 2 coloraciones en la celda promedio de las dos repeticiones de cloro residual, el verde indica que está cumpliendo con la normativa ($0.5\text{mg/L} \leq \text{Cl} \leq 5 \text{mg/L}$) y el rojo indica que el resultado no está dentro del rango, se puede observar que la totalidad de los datos de los días 1, 8 y 15 cumple con la norma.

En la **Figura 18**, se muestra la comparación de los resultados de cloro residual del segundo mes de muestreo con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA, se observa que los valores en todos los ramales de la red de distribución a partir del día 22 están por debajo de lo señalado en la normativa



V.I: vivienda inicial, V. Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 18. Concentración de cloro residual del segundo mes de muestreo.

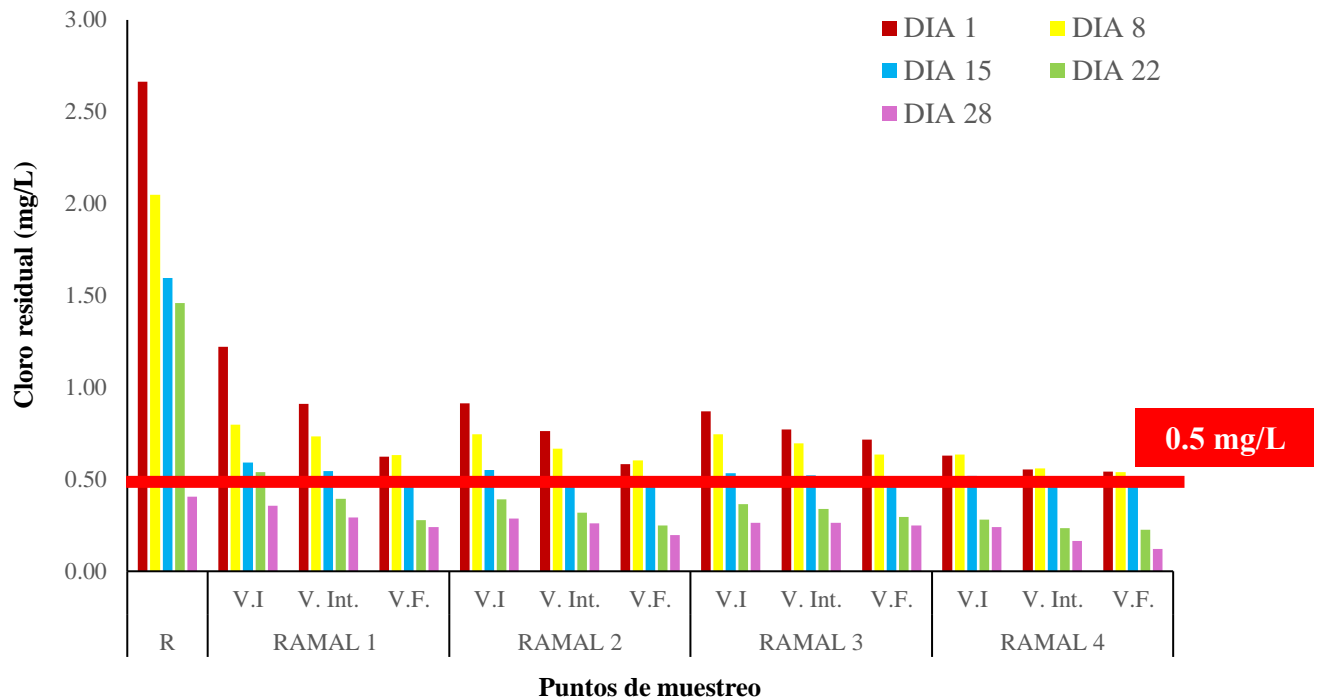
La **Tabla 18**, muestra los resultados de la medición de cloro residual del último mes de muestreo en los 4 ramales de la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna.

Tabla 18. Datos del muestreo de cloro residual del tercer mes.

DESCRIPCIÓN	1° MEDICIÓN: 24/03 T: 25°C			2° MEDICIÓN: 31/03 T: 24.3°C			3° MEDICIÓN: 07/04 T: 21.4°C			4° MEDICIÓN: 14/04 T: 20.6°C			5° MEDICIÓN: 21/04 T: 20.4°C			
	PUNTO DE MUESTREO	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)	1°	2°	\bar{Cl} (mg/L)
RESERVORIO		2.65	2.68	2.67	2.03	2.07	2.05	1.59	1.60	1.60	1.44	1.48	1.46	0.42	0.40	0.41
RAMAL 1	1	1.26	1.38	1.31	0.77	0.84	0.81	0.62	0.60	0.61	0.58	0.61	0.60	0.37	0.39	0.38
	3	1.12	1.15	1.14	0.80	0.78	0.79	0.57	0.58	0.58	0.47	0.50	0.49	0.32	0.35	0.34
	5	1.03	1.02	1.03	0.79	0.81	0.80	0.53	0.56	0.55	0.44	0.48	0.46	0.28	0.32	0.30
	10	0.81	0.78	0.80	0.66	0.67	0.67	0.53	0.56	0.55	0.31	0.35	0.33	0.27	0.30	0.29
	13	0.64	0.67	0.66	0.61	0.66	0.64	0.50	0.53	0.52	0.30	0.29	0.30	0.24	0.27	0.26
	16	0.59	0.60	0.60	0.61	0.65	0.63	0.51	0.53	0.52	0.25	0.27	0.26	0.21	0.24	0.23
RAMAL 2	17	0.92	0.91	0.92	0.74	0.76	0.75	0.54	0.58	0.56	0.39	0.41	0.40	0.27	0.32	0.30
	19	0.90	0.93	0.92	0.72	0.76	0.74	0.53	0.55	0.54	0.38	0.39	0.39	0.30	0.26	0.28
	21	0.74	0.75	0.75	0.65	0.68	0.67	0.51	0.52	0.52	0.31	0.32	0.32	0.25	0.28	0.27
	22	0.77	0.79	0.78	0.65	0.69	0.67	0.53	0.5	0.52	0.32	0.33	0.33	0.23	0.28	0.26
	24	0.61	0.63	0.62	0.62	0.67	0.65	0.51	0.54	0.53	0.27	0.26	0.27	0.20	0.24	0.22
	29	0.59	0.56	0.58	0.56	0.63	0.60	0.50	0.51	0.51	0.24	0.25	0.25	0.17	0.2	0.19
	27	0.56	0.59	0.58	0.58	0.61	0.60	0.49	0.52	0.51	0.25	0.24	0.25	0.18	0.21	0.20
	30	0.55	0.57	0.56	0.57	0.59	0.58	0.50	0.50	0.50	0.25	0.23	0.24	0.18	0.2	0.19
RAMAL 3	39	0.86	0.88	0.87	0.73	0.76	0.75	0.52	0.55	0.54	0.36	0.37	0.37	0.26	0.27	0.27
	42	0.78	0.80	0.79	0.72	0.75	0.74	0.52	0.54	0.53	0.35	0.38	0.37	0.26	0.27	0.27
	43	0.74	0.77	0.76	0.65	0.67	0.66	0.50	0.53	0.52	0.33	0.30	0.32	0.25	0.27	0.26
	45	0.70	0.73	0.72	0.62	0.65	0.64	0.50	0.52	0.51	0.28	0.31	0.30	0.24	0.26	0.25
RAMAL 4	31	0.62	0.64	0.63	0.63	0.64	0.64	0.51	0.53	0.52	0.28	0.28	0.28	0.25	0.23	0.24
	33	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.52	0.51	0.52	0.22	0.25	0.24	0.16	0.17	0.17
	35	0.55	0.54	0.55	0.56	0.54	0.55	0.50	0.51	0.51	0.22	0.23	0.23	0.13	0.16	0.15
	37	0.55	0.53	0.54	0.53	0.51	0.53	0.49	0.50	0.50	0.23	0.22	0.23	0.09	0.11	0.10

1° y 2°: repeticiones en la toma de datos de cloro residual (mg/L)

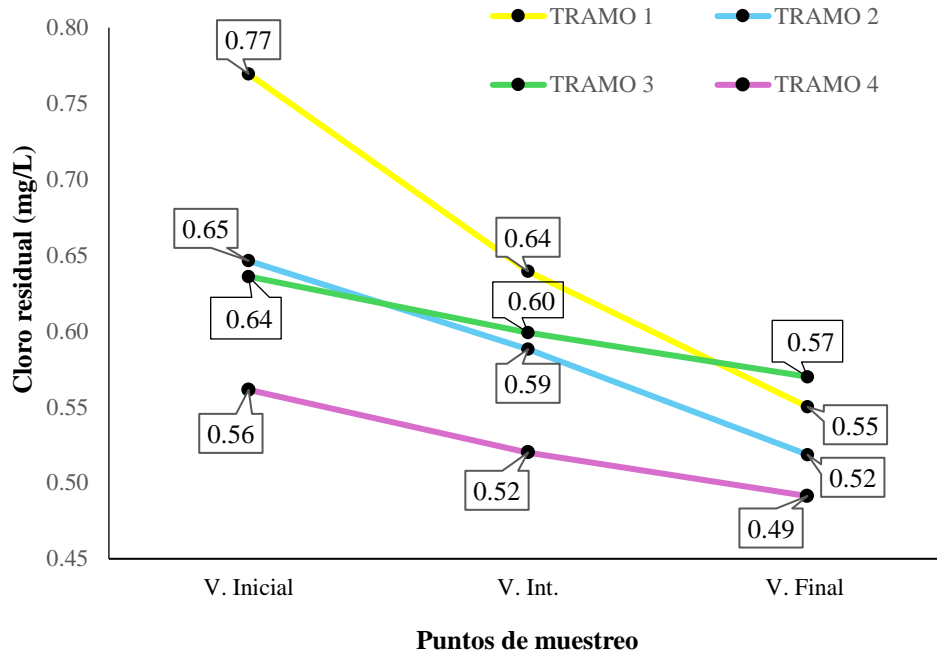
En la **Figura 19**, se muestra comparación de los resultados con los LMP para el agua para consumo humano, los valores por debajo de la línea roja indican el incumpliendo de la normativa ya que están por debajo de lo mínimo exigido 0.5 mg/L de cloro residual.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 19. Concentración de cloro residual del tercer mes de muestreo.

En la **Figura 20**, se muestra los valores promediados de todas las semanas muestreadas en los 4 ramales de la red de agua potable de Rutuna, los valores más altos respecto a las viviendas la presentan las viviendas iniciales, y respecto a los ramales, el ramal 1 presenta los mayores valores en las V. I y V. Int., y los menores valores se presentan en el Ramal 4.



V.I: vivienda inicial, V.Int.: vivienda intermedia, V.F.: vivienda final.

Figura 20. Concentración promedio de cloro residual de los 4 ramales de la red de distribución.

La **Figura 21**, muestra el cumplimiento de la norma en porcentaje de la totalidad de los datos, se observa que el 62% de las muestras están dentro del rango $0.5\text{mg/L} \leq \text{Cl} \leq 5 \text{mg/L}$, el 11% son superiores a 0.3 lo cual también es aceptable pero no recomendado y el 27% de las muestras tienen valores inferiores de lo establecido en el D.S. N° 031-2010-SA.

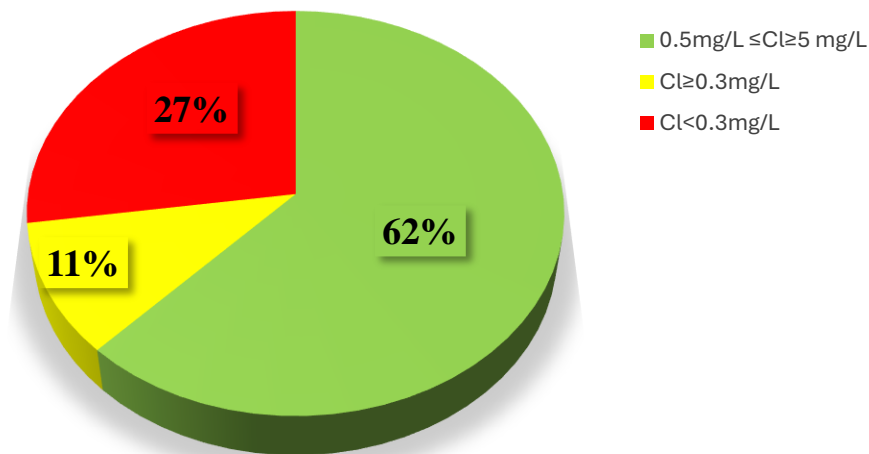


Figura 21. Cumplimiento de la normativa respecto al cloro residual.

Anexo B. Descripción del sistema de agua potable del Centro Poblado Rutuna

Tabla 19. Descripción del estado del reservorio del Centro Poblado Rutuna.

Nombre el informe	Estado de conservación de la estructura sanitaria del Centro Poblado Rutuna				
Ubicación Política			Altitud	Coordenadas Geográficas (WGS84-18S)	
Ancash	Pomabamba	Pomabamba	3536	225100E	9025797N

Estado de conservación

Posee un cerco perimétrico de tubos y enmallado de acero galvanizado que se encuentra en buen estado, la caseta de válvulas fue recientemente resanado por lo que está en buen estado, cuenta con un sistema de cloración por goteo en buen estado implementado el año 2019, no presenta fugas sin embargo la estructura presenta algunas fisuras exteriores y desprendimiento de la pintura.

Beneficiarios directos	45 familias
Prioridad	MEDIA
Objetivo Principal	Reconocer e identificar los problemas que afectan al reservorio

Descripción de la ficha

La presente ficha nos sirvió para reconocer e indicar cuales son los principales problemas que presenta actualmente el reservorio, por lo observado en campo se sugiere al JASS realizar el mantenimiento preventivo y correctivo a la estructura, priorizando el tema del pintado y el desbroce de la vegetación alrededor, asimismo, cambiar el candado de la zona de ingreso puesto a que ya está dañado.

Propuesta de acciones a desarrollar

Mayor coordinación de la JASS para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos.

Compra y utilización de EPP para el operador.

Entidades responsables de la ejecución

Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS)

Tabla 20. Descripción del estado de la red de distribución de agua potable del Centro Poblado Rutuna

Nombre el informe	Estado de conservación de la estructura sanitaria del Centro Poblado Rutuna				
Ubicación Política			Altitud	Coordenadas Geográficas (WGS84-18S)	
Ancash	Pomabamba	Pomabamba			

Estado de conservación

Posee redes de distribución de PVC de 1" y 3/4" de diámetro, se visualiza tuberías expuestas a la superficie en algunas zonas; presenta CRP del Tipo VII que no cuentan con cerco perimétrico, su pintura está deteriorada y sus tapas metálicas despintándose. Respecto a las conexiones domiciliarias, algunas presentan accesorios en mal estado provocando fugas en la salida de los caños.

Beneficiarios directos	45 familias
Prioridad	ALTA
Objetivo Principal	Reconocer e identificar los problemas relacionados a la red de distribución de agua

Descripción de la ficha

La presente ficha nos sirvió para reconocer e indicar cuales son los principales problemas que presenta actualmente la red de distribución, cuyo principal problema son las tuberías expuestas y conexiones domiciliarias con fugas, por lo que se sugiere al JASS realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de la red y reunión con la población para el arreglo de las fugas de agua.

Propuesta de acciones a desarrollar

Reunión de la población para un mantenimiento correctivo de las conexiones domiciliarias.

Instalación de cercos perimétricos para las CRP VII.

Protección de las tuberías expuestas.

Entidades responsables de la ejecución

Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS)

Anexo C. Panel fotográfico



Figura 22. Recorrido de identificación de la zona de estudio.



Figura 23. Identificación de las tomas domiciliarias.



Figura 24. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 05 del Ramal 1.



Figura 25. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 10 del Ramal 1.



Figura 26. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 21 del Ramal 2.



Figura 27. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 29 del Ramal 2.



Figura 28. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 39 del Ramal 3.



Figura 29. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 45 del Ramal 3.



Figura 30. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 31 del Ramal 4.



Figura 31. Solicitud personal de acceso a la vivienda N° 35 del Ramal 4.



Figura 32. Desinfección de las tomas domiciliarias



Figura 33. Preparación para la recolección de muestras



Figura 34. Recolección de muestra del Ramal 1.



Figura 35. Recolección de muestra del Ramal 2.



Figura 36. Enjuague de las celdas del Hanna HI 701



Figura 37. Muestreo de cloro residual en las tomas domiciliarias.



Figura 38. Adición de reactivo DPD para lectura de muestra.



Figura 39. Coloración de una muestra tras añadir el reactivo DPD.



Figura 40. Lectura de resultado de la muestra.



Figura 41. Medición del cloro residual en la red de distribución de agua potable.



Figura 42. Medición de cloro residual en la vivienda N° 12 del Ramal 1.



Figura 43. Medición de cloro residual en toma domiciliaria del Ramal 3.



Figura 44. Medición de cloro residual en toma domiciliaria del Ramal 4.



Figura 45. Recolección de muestra del reservorio.



Figura 46. Medición de cloro residual en el reservorio



Figura 47. Ultima medición de cloro residual en el reservorio.

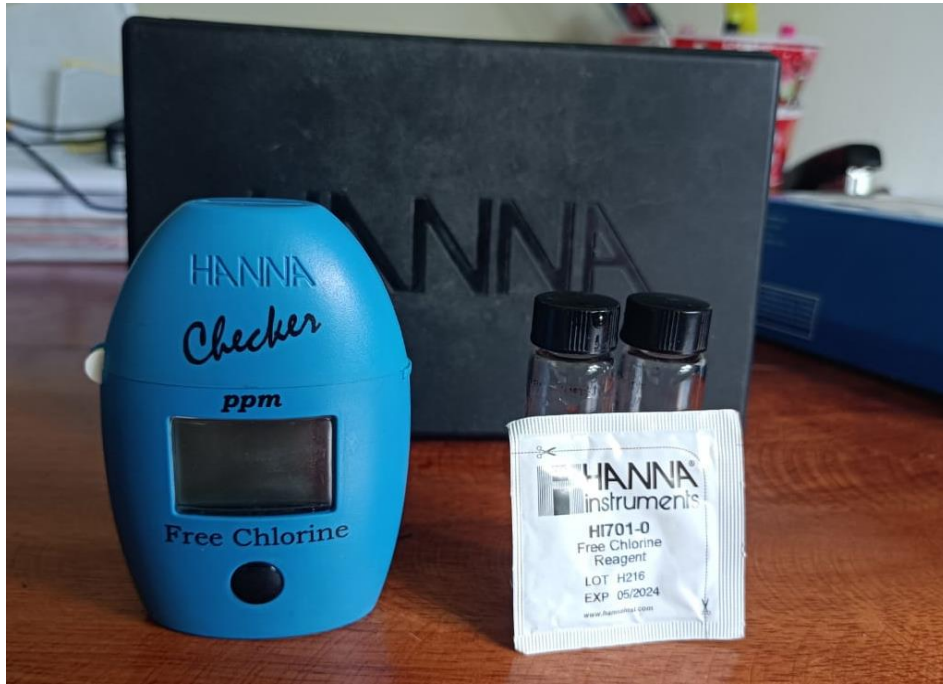


Figura 48. Equipo medidor de cloro residual Hanna HI 701.



Figura 49. Miembros actuales de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS)

Anexo D. Permiso para la ejecución de la tesis

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

CARTA N° 07/2024/JASS/RUTUNA/POMABAMBA

Pomabamba, 15 de enero del 2024

SRTA : Beatriz Milagros Vasquez Bendezu

ASUNTO : Aceptación a lo solicitado

REFERENCIA: CARTA N° 001-2024-BMVB

De mi mayor consideración.

Es grato dirigirme a usted para saludarla cordialmente y comunicarle que la JASS de Rutuna, vio por conveniente aceptar y brindar las facilidades para el acceso a las instalaciones del sistema de agua potable y la toma de muestras en el reservorio y las viviendas de la red de distribución, para la ejecución del proyecto de tesis **“Evaluación de la solución madre de cloro en la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna-Pomabamba-Pomabamba-Ancash,2024”**.

Sin otro asunto en particular, me despido de usted.

Atentamente.



[Handwritten Signature]
SABINO ALVAREZ E.
PRESIDENTE JASS.
DNI: 45995715

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

CARTA N°001-2024-BMVB

Pomabamba, 12 de enero del 2024

SEÑOR : ALVAREZ ESPIRITU SABINO
Presidente de la JASS del Centro Poblado de Rutuna

ASUNTO : Solicito acceso al sistema de agua potable y toma de muestras

REFERENCIA: Resolución N° 026-2024-D-FRNR-UNAS

De mi mayor consideración.

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y aprovecho de este medio para manifestarle, que siendo Bachiller en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, deseo ejecutar mi proyecto de Tesis en el Sistema de Agua Potable del Centro Poblado de Rutuna que usted dirige; asimismo, hago de su conocimiento que con Resolución N° 026-2024-D-FRNR-UNAS, aprueban y autorizan la ejecución de mi proyecto de tesis: **"Evaluación de la solución madre de cloro en la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna-Pomabamba-Pomabamba-Ancash,2024"**

Por tal motivo, solicito a usted permiso para el acceso a las instalaciones del sistema de agua potable y la toma de muestras en el reservorio y las viviendas de la red de distribución iniciando el mes de Enero al mes de Abril del presente año.

Agradeciendo de antemano la atención prestada, me suscribo a usted, no sin antes expresarle las muestras de mi estima personal.

Atentamente,

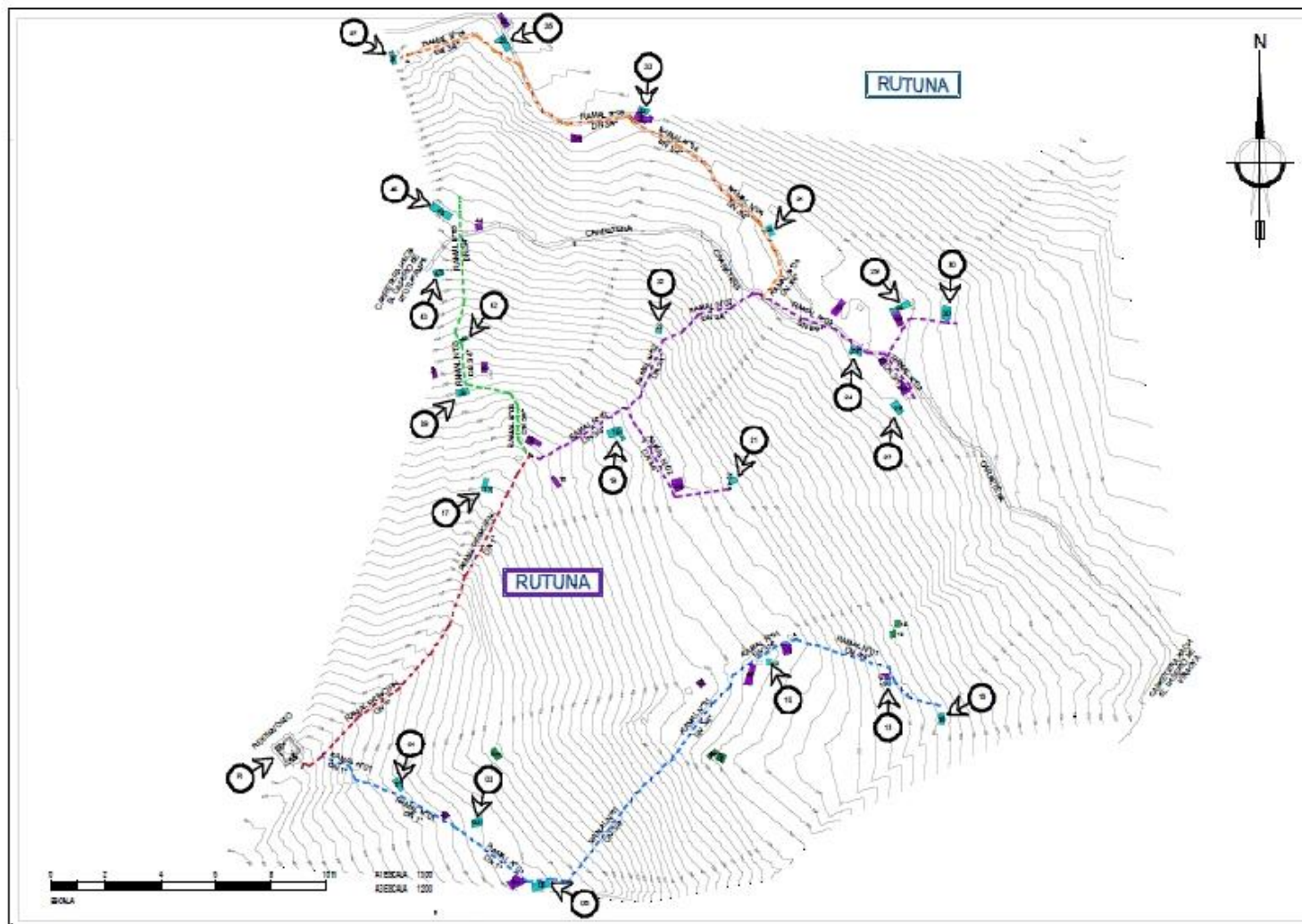


Bach. Beatriz Milagros Vasquez Bendezú
DNI: 74041496

Solicitante



*SABINO ALVAREZ E.
PRESIDENTE JASS.
DNI: 45995715*



Leyenda

- Departamentos del Perú
- ANCASH
- Provincias de Ancash
- Provincia de Pomabamba
- Distrito de Pomabamba
- PUNTOS DE MUESTREO
- VIVIENDAS EXISTENTES
- VIVIENDAS SIN CONEXIONES
- RESERVIORIO
- CURVAS DE NIVEL





	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
EVALUACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO RUTUNA - POMABAMBA - POMABAMBA - ANCASH, 2024				
ASESOR	Dr. Luis Eduardo Oré Certo Ing. MSc. Alberto Franco Cema Cueva		TESISTA	Vásquez Bendeuz, Beatriz Milagros
Ubicación Política			Ubicación geográfica	
Distrito	Provincia	Departamento	Datum	Proyección
Pomabamba	Pomabamba	Ancash	WGS84	UTM
				Fecha
				15/06/2024

Figura 50. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.