

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



MODELAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA
RED DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO LA FLORIDA – SINSICAP –
OTUZCO – LA LIBERTAD, 2024

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

GERONIMO PASCUAL, FRANS YULIO

Tingo María – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 035-2025-FRNR-UNAS

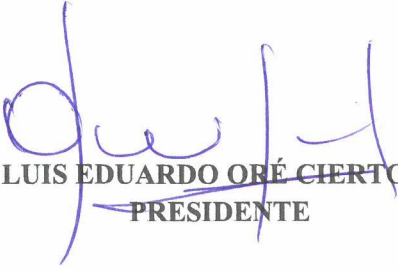
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 21 de febrero 2025, a horas 9:00 p.m. en la plataforma virtual Microsoft Teams de la Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“MODELAMIENTO DE LA CONCENTRACION DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO LA FLORIDA - SINSICAP-OTUZCO - LA LIBERTAD, 2024”

Presentado por el Bachiller: **GERONIMO PASCUAL FRANS YULIO**, 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”**.

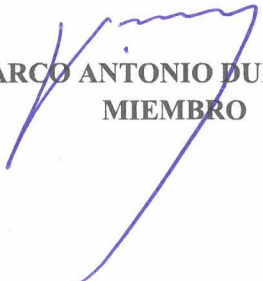
En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 02 de abril de 2025.


Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
— PRESIDENTE


Ing. MSc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO
MIEMBRO




Ing. MSc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA
MIEMBRO


Ing. MSc. ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA
ASESOR



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 109 - 2025 - 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
MODELAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO LA FLORIDA – SINSICAP – OTUZCO – LA LIBERTAD, 2024	GERONIMO PASCUAL, FRANS YULIO	19 % Diecinueve

Tingo María, 16 de abril de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD 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



MODELAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA
RED DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO LA FLORIDA – SINSICAP
– OTUZCO – LA LIBERTAD, 2024

Autor	: Frans Yulio Geronimo Pascual
Asesor(es)	: Ing. M.Sc. Alberto Franco Cerna Cueva
Programa de investigación	: Ciencia y Tecnologías Ambientales
Línea de investigación	: Modelos ambientales, climáticos y escenarios futuros
Eje Temático	: Modelización de sistemas eficientes y ecoeficientes
Lugar de ejecución	: Centro Poblado La Florida
Duración del trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: S/ 14, 684,00
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: Sí

Tingo María – Perú, 2024

DEDICATORIA

A mi bella madre **Marleni Pascual**, por ser el corazón de mi vida y claro amor incondicional en cada etapa personal.

A mi valiente padre **Lorenzo Gerónimo**, por su gran esfuerzo y enseñarme afrontar cada problema con sabiduría.

A mis hermanas **Mayerling Gerónimo Pascual**, **Esmeralda Gerónimo Pascual** y **Thalia Gerónimo Pascual** por su enorme confianza, aprecio y amor todos estos años.

A mi pequeño hermano **Noah Gerónimo Pascual** por ser una bendición en mi vida.

A toda mi familia **Gerónimo Pascual** por haberme apoyado en los momentos más indispensables de mi vida desde lo personal y familiar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** como prioridad en mi vida, por darme el aliento de vida y otorgarme la voluntad de permanecer fuerte cada día, con sus bendiciones e incommensurable amor.

A la **Universidad Nacional Agraria de la Selva**, en especial a los docentes de la **Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental** y cada docente que han podido contribuir en mi formación como profesional.

Quiero agradecer de manera especial a mi asesor el **Ing. M.Sc. Franco Alberto Cerna Cueva**, por su motivación, asesoramiento profesional y toda su experiencia académica durante la realización para la presentación de esta tesis.

A los miembros del jurado **Dr. Luis Eduardo Oré Cierito, Ing. M.Sc. Sandra Lorena, Zavala Guerrero, Ing. M.Sc. Marco Antonio Dueñas Tuesta, Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo**, por su valioso tiempo y orientación para la elaboración de esta tesis.

Quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros, colegas que me han motivado y acompañado en esta etapa de mi carrera universitaria, en especial a: **Beatriz Vásquez, Russell Rosales, Dayra Soria, Janela Huata y Jhoshira Huarcaya**, ha sido increíble y valiosa su amistad de inicio a fin.

ÍNDICE

Página

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	4
2.2. Decreto Legislativo N°1280	7
2.3. Decreto Supremo N°031-2010-SA	8
2.4. Elementos de un SAP.....	9
2.4.1. Sistema de Agua Potable.....	9
2.4.2. Captación de ladera	9
2.4.3. Cámaras rompe presión tipo 6.....	10
2.4.4. Línea de conducción	10
2.4.5. Reservorio rectangular.	11
2.4.6. Cámaras rompe presión tipo 7.....	11
2.4.7. Línea de distribución.....	12
2.5. Dinámica del consumo de agua potable.....	12
2.6. Leyes de la conservación	13
2.6.1. Ecuación de continuidad	13
2.6.2. Conservación ideal de la energía.....	13
2.6.3. Conservación de la energía general.....	13
2.7. Hidrodinámica de tuberías	14
2.7.1. Régimen de flujo	14
2.7.2. Ecuación de Darcy-Weisbach	14
2.7.3. Pérdida de carga por accesorios menores.....	16
2.8. Dinámica del cloro residual en los SAP	17
2.8.1. Cinética de reacciones	18
2.8.2. Cinética de transferencia de masa.	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Lugar de ejecución	22
3.1.1. Ubicación política	22
3.1.2. Ubicación geográfica	22

3.1.3. Clima	28
3.2. Materiales y equipos	28
3.3. Criterios de Investigación	28
3.3.1. Nivel de investigación	28
3.3.2. Tipo de investigación	28
3.3.3. Variables del estudio	28
3.3.4. Diseño de la investigación	29
3.3.5. Población y muestra	29
3.3.6. Análisis estadísticos	30
3.4. Metodología	30
3.4.1. Reconocimiento de la red de agua potable.....	30
3.4.2. Simulación del comportamiento hidráulico	31
3.4.3. Calibración de los parámetros del modelo para la predicción del cloro residual	33
3.4.4. Simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua potable	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Reconocimiento de la red de agua potable	36
4.2. Simulación del comportamiento hidráulico.	38
4.2.1. Determinación de perfiles de consumo de agua potable	40
4.2.2. Simulación y calibración de parámetros hidráulicos	44
4.3. Calibración de los parámetros del modelo para la predicción del cloro residual	46
4.3.1. Determinación del coeficiente de reacción del cloro con la masa del agua	46
4.3.2. Determinación del coeficiente de reacción del cloro con la pared de la tubería.....	48
4.4. Simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua potable.....	50
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. PROPUESTAS A FUTURO	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Límites Máximos Permisibles de Parámetros Inorgánicos.....	9
2.Valores de diseño de rugosidad en tuberías.....	15
3. Coeficientes de pérdida de componente menores.....	16
4. Georreferencia del Centro Poblado La Florida - Sinsicap - Otuzco - La Libertad...	22
5. Georreferencia de las viviendas muestreadas de La Florida.....	23
6. Información requerida para modelamiento hidráulico.....	31
7. Reconocimiento de la red de distribución de agua potable de Rutuna.	36
8. Resumen del modelo hidráulico.	38
9. Consumo horario de las 23 viviendas evaluadas	40
10. Valores de caudales observados y ajustados y coeficiente C ajustado	45
11. Coeficiente Global de decaimiento de cloro (K)	48
12. Coeficientes de reacción del cloro en la red de agua potable La Florida	49
13. Comparación del cloro residual observado y simulado	51
14. Características de las viviendas de la Red de Agua Potable de la Florida.....	62
15. Características de las tuberías de la Red de Agua Potable de la Florida	63
16. Características de los nodos de la Red de Agua Potable de la Florida	64
17. Características de las válvulas de la Red de Agua Potable de la Florida.....	65
18. Características de las CRP de la Red de Agua Potable de la Florida	66
19. Resultados de la simulación del comportamiento hidráulico en los nodos de la red de agua La Florida.	67
20. Resultados de la simulación del comportamiento hidráulico en las tuberías que conforman la red de agua La Florida	68

INDICE DE FÍGURAS

Figura	Página
1. Sistema de captación de agua de laderas.....	10
2. Cámara rompe presión tipo 6.	10
3. Línea de conducción.....	11
4. Cámara rompe presión tipo 7	12
5. Red de distribución.....	12
6. Diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de fricción f	15
7. Mapa de ubicación del lugar de estudio.	22
8. Ubicación de las viviendas muestreadas	27
9. Diseño de investigación.....	29
10. Esquema de la simulación/calibración hidrodinámica del SAP	32
11. Esquema general del modelamiento de cloro residual.	35
12. Red de agua potable en el WaterGEMS.	39
13. Reportes de las tuberías en el software WaterGEMS.....	40
14. Variación del consumo horario del agua.	41
15. Análisis del Consumo Horario de Agua.	42
16. Coeficientes de consumo horario en el WaterGEMS.....	42
17. Variación del consumo promedio horario en WaterGEMS.	43
18. Comparación del consumo de agua ajustado y observado por vivienda.	45
19. Coeficiente de reacción del cloro con la masa del agua (K_b) ajustado.	46
20. Cloro residual en función del tiempo.	53
21. Toma de coordenadas en la captación.	71
22. Verificación de las coordenadas geográficas de los componentes.....	71
23. Reconocimiento de la red de distribución de agua de La Florida	72
24. Ubicación de las CRP del sistema de agua potable de La Florida.	72
25. Reconocimiento del reservorio y caseta de cloración	73
Figura 26. Entrevista con poblador para la determinación de los perfiles de consumo. .	73
27. Entrevista a la Vivienda 28 para conocer el consumo de agua	74
28. Entrevista a la familia de la vivienda 71 para determinar su consumo de agua.....	74
29. Toma de muestra para medición del cloro residual.....	75
30. Coloración de la celda por reacción del reactivo con el cloro.....	75
31. Resultados de la medición de cloro residual	76

32. Toma de muestra de la vivienda 53 para cloro residual.	76
33. Medición de cloro residual de la vivienda 71.....	77
34. Reunión con la población para dar de conocimiento la investigación.	77
35. Población de La Florida asistente a la reunión.	78
36. Miembros de la actual JASS de La Florida	78

RESUMEN

Este estudio busco modelar la concentración de cloro residual en la red de agua potable del centro poblado La Florida. Se realizó un reconocimiento de la zona y se seleccionaron 23 viviendas según su ubicación. La simulación del comportamiento hidráulico se efectuó en el software WaterGEMS, empleando AutoCAD y ArcGIS para elaborar los planos del sistema de agua y relieve del terreno. Además, el perfil de consumo se obtuvo mediante encuestas en las viviendas, y la calibración de la simulación se realizó con caudales medidos en campo.

Para determinar los coeficientes de reacción del cloro, se utilizó una prueba experimental llamada prueba de botella para obtener el coeficiente K_b y el coeficiente K_w se calculó indirectamente a través del coeficiente global de decaimiento de cloro K . Posteriormente, se ejecutó la simulación de concentración de cloro residual, después se comparó con los valores de campo, conforme a ello determino un error porcentual aceptable.

Los resultados indican que la red consta de 151 nodos, de los cuales 72 corresponden a conexiones domiciliarias, y 190 tuberías con una longitud total de 16,9 km. Los caudales ajustados oscilaron entre 1,58 y 3,45 L/min. Los indicadores de K_b y K_w fueron $0,1497 \text{ h}^{-1}$ y $0,0003 \text{ m/h}$, respectivamente. Finalmente se logró simular la concentración de cloro residual en la red de agua potable, con un error porcentual inferior a 20% en todas las estaciones de muestreo que se confrontó, por lo que se considera que se logró un modelo optimo y calibrado.

Palabras clave: Modelación, cloro residual, red de distribución.

ABSTRACT

This study aimed to model the residual chlorine concentration in the drinking water network of the town of La Florida. A total of 23 households were selected for residual chlorine sampling, and a survey of the area was conducted. The hydraulic behavior simulation was performed using WaterGEMS software, with AutoCAD and ArcGIS used to develop the system plans and terrain topography. Additionally, the consumption profile was obtained through surveys in the selected households, and the simulation calibration was conducted using field-measured flow rates. To determine the chlorine reaction coefficients, an experimental bottle test was used to obtain the K_b coefficient, while the K_w coefficient was indirectly calculated through the global chlorine decay coefficient K . Subsequently. The results indicate that the network consists of 151 nodes, of which 72 are household connections, and 190 pipes with a total network length of 16.9 km. Adjusted flow rates ranged between 1.58 and 3.45 L/min. The K_b and K_w values were 0.1497 h^{-1} and 0.0003 m/h , respectively. In conclusion, the simulation of the residual chlorine concentration in the drinking water network was successfully achieved, with a percentage error below 20% at each sampling point, validating the calibrated model.

Keywords: simulation model, residual chlorine, distribution network

I. INTRODUCCIÓN

La herramienta que recopila información nacional, organiza y proporciona datos específicos sobre los servicios de saneamiento en las localidades rurales DATASS, la concentración de cloro residual en los Sistemas de Agua Potable (SAP) con sistemas de cloración es críticamente deficiente, el 40,55% de estos SAP tienen niveles aceptables en las viviendas ($\geq 0,5$ ppm), el 23,53% posee niveles de cloro residual medios ($0,2 - 0,49$ ppm), el 4,15% posee niveles deficientes ($0,01 - 0,2$ ppm) y en el 31,78% no se encuentra cloro residual en el agua que está destinada al suministro humano significando esto alto riesgo para la bienestar público sobre todo de estas zonas en el ámbito rural que son las más vulnerables en cuanto a factores socioeconómicos.

La administración del servicio de saneamiento en lo rural recae en organizaciones comunales (OC), muy frecuentemente conocidas como juntas administrativas de los servicios de saneamiento [JASS]. Estas OC garantizan que el agua para consumo humano cumpla las condiciones normativas en cuánto a la calidad, se deben encargar del mantenimiento y sostenibilidad de estos servicios, realizando el mantenimiento y calibración periódica de estos SAP, sin embargo las personas que suelen encargarse de estas tareas suelen estar sin preparación con respecto a estos temas ya que el mantenimiento y calibración de SAP, requiere un conocimiento técnico básico y muy frecuentemente estas tareas sobrepasan la capacidad de las organizaciones comunales.

El principal problema para una deficiente cloración es que los sistemas de cloración suelen estar descalibrados. Los niveles de cloro residual que se requieren en los SAP son concentraciones menores o iguales a 5 ppm a la salida del reservorio y concentraciones mayores o iguales a 0,5 ppm en la última vivienda del SAP. Sin embargo en zonas rurales es muy común que los pobladores sean muy sensibles a concentraciones de cloro residual mayores a 1 ppm ya que el sabor el olor y el color pueden cambiar ligeramente y puede hacer que los pobladores no consuman esta agua, por ello es importante garantizar que la salida de cloro residual de los reservorios sean la suficiente para garantizar que en la última vivienda se alcanza la concentración mayor igual a 0,5 ppm pero que no sea tan alta como para alterar los parámetros de sabor, color y olor del agua potable en el SAP.

La variación de la concentración de cloro residual en los SAP desde la salida del reservorio hasta la última vivienda se explica por el tipo de centro poblado (concentrado, semi disperso y disperso), las características fisicoquímicas del agua, la topografía del terreno, los

caudales en la red, los diámetros de las tuberías, por las condiciones climáticas y hasta por la antigüedad del propio SAP. Para poder integrar toda esta gran cantidad de factores es necesario realizar una modelación que se adapte a las condiciones particulares de los SAP en los distintos centros poblados. En tal sentido el problema de investigación fue ¿Cuál es el nivel de acierto del modelamiento de la concentración de cloro residual en la red de agua potable del centro poblado de Sinsicap, 2022?, planteándonos como hipótesis que el nivel de acierto del modelamiento de la concentración de cloro residual en la red de agua potable del centro poblado de La Florida, 2024 es alto.

El trabajo servirá como antecedente para que las Áreas Técnicas Municipales (ATM) puedan calibrar los SAP que se encuentran bajo sus responsabilidades considerando las características propias de los centros poblados utilizando como referencia la metodología para la calibración y simulación del modelo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Modelar la concentración de cloro residual en la red de agua potable en el centro poblado La Florida, 2024.

1.1.2. Objetivos específicos

- Ejecutar el reconocimiento de la red de agua potable en el centro poblado La Florida.
- Simular el comportamiento hidráulico de la red de agua potable en el centro poblado La Florida.
- Calibrar los parámetros del modelo para la predicción de cloro residual en la red de agua potable del centro poblado La Florida.
- Simular la concentración de cloro residual en la red de agua potable del centro poblado La Florida.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Domínguez (2021), verificó los niveles de cloro en el agua destinada al consumo humano, analizando seis tipos de muestras obtenidas de diversos puntos dentro en la red de abastecimiento de agua gestionada por Aguapen en la parroquia Chanduy y sus alrededores. Buscó desarrollar un modelo que permita analizar el contenido de cloro presente en el agua potable suministrada a la población. Para ello, utilizó el software WaterCad, mediante el cual se llevó a cabo la modelación del cloro residual. Este proceso permitió determinar niveles aceptables de concentración de cloro en el agua distribuida a los hogares. El análisis concluyó que garantizar una calidad adecuada del agua contribuye significativamente a la prevención de enfermedades entre los usuarios, gracias a la eliminación efectiva de microorganismos patógenos. Además, los resultados de campo reflejaron concentraciones de variaban entre 0,3 mg/L y 1,2 mg/L. Estas cifras cumplen con la NORMA TÉCNICA INEN 1108 de Ecuador, que especifica niveles de cloro en el rango de 0,3 mg/L a 1,5 mg/L.

Enciso (2019) examinó la disminución de cloro en la red de distribución de un municipio colombiano, analizando variables como la temperatura y las características del sistema de acueducto. Los parámetros de calidad del agua evaluados incluyeron el pH, el cloro residual y la temperatura, tanto en la salida de la PTAP como en el tanque de almacenamiento. Además, se tomaron muestras en 11 puntos a lo largo de la red, incluyendo tanques domiciliarios seleccionados, y se utilizó el software EPANET para modelar los datos recopilados. Finalmente, se evaluó el estado del desinfectante en los tanques domiciliarios de seis viviendas del municipio.

Sachez et al. (2010), se planteó examinar el comportamiento del cloro residual y los subproductos generados durante el proceso de desinfección del sistema piloto de agua potable y red de distribución en la ciudad de Cali. Este sistema abastece a unos 7,000 usuarios, lo que corresponde a una población total de 30,000 personas, con agua proveniente del río Cauca. Los hallazgos revelaron que el modelo empleado resultó ser eficaz para mejorar el monitoreo y control de calidad de agua en la red, permitiendo realizar análisis más detallados y precisos. En el sistema piloto, el 80% de las mediciones de cloro residual superaron los 0,3 mg/L. Además, se determinó que el cloroformo fue principal subproducto de la desinfección, el cual representó el 95% de los trihalometanos detectados, con concentraciones que alcanzaron

los 80 µg/L en el 95% de los puntos analizados. También se determinó que el tiempo de antigüedad del agua en las tuberías influyen en los comportamientos del cloroformo y cloro residual.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el estudio de Gutiérrez y Domínguez (2023), denominado Modelado de los niveles de cloro residual en el sistema de agua potable de dos sectores de Santa María de Nieva, analizando las condiciones en sequía y lluvias mediante el uso del software WaterCAD. Los hallazgos revelaron que una dosis de cloro de 1,0 mg/L resultaba insuficiente para mantener niveles adecuados en toda la red. Sin embargo, al incrementar la dosis a 2 mg/L en periodos de sequía y a 2,5 mg/L durante la temporada de lluvias, se lograron alcanzar los niveles óptimos, considerando tanto el crecimiento poblacional como las variaciones estacionales. En resumen, el modelado permitió regular los niveles de cloro residual de manera efectiva, garantizando el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles [LMP] establecidos por el Ministerio de Salud [MINSA].

Paco y Pizarro (2022), buscaron analizar la metodología vigente de evaluación de calidad del agua potable que lleva a cabo la empresa prestadora de servicios SEDAPAR, a la vez que propuso un modelo hidráulico empleando el software WaterGEMS. El estudio se centró en una simulación de las concentraciones de cloro libre residual en toda la red de distribución del circuito R-29, ubicado en la zona Pampa de Polanco de Alto Selva Alegre. El análisis comenzó revisando la metodología utilizada por la EPS, que cumple con los estándares establecidos por la SUNASS, aunque con un enfoque de evaluación puntual. A partir de esta revisión, se planteó optimizar el sistema mediante un modelamiento planificado. Se definió el área de estudio y el alcance del circuito R-29, que abastece a 2,375 usuarios con conexión domiciliaria. Posteriormente, se recopiló información técnica proporcionada por la EPS, incluyendo planos topográficos, planos de las redes georreferenciadas, datos de consumo doméstico y las variaciones en el uso del tanque de almacenamiento del agua residual del circuito R-29. En campo, se midieron presión y residual en diferentes puntos accesibles de la red se midieron cloro, como grifos contra incendios y cámaras principales de distribución. Estos valores fueron utilizados para calibrar el modelo y compararlos con los resultados obtenidos. Para el modelo hidráulico y el análisis de calidad de agua, se emplearon softwares WaterGEMS y ArcMap. Finalmente, la simulación de cloro residual arrojó resultados comparables con las mediciones reales, presentando un margen de error aceptable. El trabajo concluyó con la

propuesta de una metodología alternativa, mejora la evaluación de la calidad del agua y establece una base aplicable a otras redes de distribución similares.

Huamán y Contreras (2020), se propusieron identificar la dosis ideal de cloro en un sistema de agua potable mediante un hipoclorador por goteo, evaluando el cloro residual libre en 60 domicilios como muestra que se vincula con la Junta Administradora de Servicios y Saneamiento (JASS). Se empleó ficha específica para la toma de datos y un comparador de cloro de la marca Hach. Los resultados mostraron que, al operar el sistema con una dosificación de 3500 ppm de cloro y un flujo de 30 mL/min, el 83,33% de las mediciones resultaron inferiores a los valores establecidos por el D.S. N°031-2010-SA (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano). Los resultados indicaron que 16,67% se encontraba en rango permitido por la normativa. Al aumentar la concentración a 4000 ppm, el 23,33% de las mediciones excedió los valores reglamentarios, mientras que el 76,67% estuvo dentro del rango permitido. Por otro lado, con una dosis de 5000 ppm, el 100% de los hogares registró niveles de cloro residual que sobrepasan los parámetros estipulados. Finalmente, fue 4000 ppm la dosis óptima de cloro que es de operando a un flujo de 30 mL/min, ya que cumple con los criterios normativo vigente.

En la investigación de Palacios (2019), sobre Los modelos de redes de distribución de agua potable se calibran utilizando datos recolectados en campo, los cuales se ajustan mediante principios de análisis basados en algoritmos genéticos. En este caso, se empleó la herramienta Darwin Calibrator del software WaterCad v8i, desarrollado por Bentley Systems, Incorporated. La calidad del agua, específicamente en relación con el cloro residual, se realizó determinando los coeficientes de reacción entre cloro y agua, así como su interacción con la pared de las tuberías en puntos estratégicamente seleccionados. Para ello se utilizaron datos clave para modelar hidráulicamente la red de distribución de agua potable: la topología de la red, las características topográficas de la zona de estudio, las propiedades de las tuberías que integran la matriz de la red, el caudal de demanda por usuario y las variaciones diarias de consumo, basadas en patrones históricos. Finalmente, se llevó a cabo la calibración del modelo hidráulico, comparando los resultados de presión obtenidos en puntos de control específicos de la red en el sector urbano de la ciudad de Huánuco.

La investigación desarrollada por Nizama (2019) se enfocó en estudiar la reducción del cloro en el agua, teniendo en cuenta el coeficiente de reacción en el flujo dentro de las tuberías del sistema de abastecimiento en la localidad de San Miguel, Áncash. Empleó, el método de cloración por goteo, complementado con WaterCAD para realizar el modelado.

Los resultados obtenidos permitieron determinar los coeficientes de decaimiento del cloro residual y concluyo que son fundamentales para modelar con precisión la calidad del agua. Además, dichos hallazgos facilitaron la representación del comportamiento del cloro en de toda la red de distribución en la zona estudiada.

Nazima (2019) busco analizar la disminución del cloro en función del coeficiente de reacción en el agua que circula dentro de las tuberías de la red de distribución de agua potable. Para ello, se utilizó un sistema de cloración por goteo en la localidad de San Miguel de Monterrey, ubicada en el distrito de Independencia, provincia Huaraz. El estudio incluyó la modelación mediante el software WaterCAD, lo que permitió comprender la dinámica del cloro residual en el sistema de agua potable. Esto no solo busca garantizar una desinfección óptima del agua, sino también establecer un precedente que pueda ser replicado en otros sistemas similares. Asimismo, el análisis permitió calcular el coeficiente de decaimiento del cloro en relación con la masa de agua que fluye por las tuberías de la distribución en la localidad de San Miguel de Monterrey, distrito Independencia, provincia Huaraz, departamento Áncash.

En la investigación de Rodríguez (2018) se planteó desarrollar un modelo de simulación para evaluar cloro residual en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Rioja durante el año 2019. Para lo cual analizó 146 conexiones domiciliarias para medir niveles de cloro residual de las viviendas. Los resultados fueron que la concentración de cloro supera consistentemente los 0,50 mg/L, asegurando una calidad adecuada para la eliminación de patógenos. Asimismo, al simular el comportamiento del cloro en la red, se determinó que el agua cumple con los límites establecidos para el consumo humano. En conclusión, el uso del software AutoCAD para diseñar planos relacionados con la modelación y la sectorización de la red de distribución, además integrar curvas de nivel mediante ArcGIS y realizar el modelado con WaterCAD para cloro residual.

Para Aguilar (2015), En su estudio titulado Simulación para analizar la distribución de cloro residual en la red principal del sistema de agua potable de Buenavista, Cantón Pasaje, Provincia de El Oro. Para ello observó que las concentraciones de CLR son más bajas las partes finales de los nodos de la red, específicamente en los puntos 10, 11, 12, 13 y 14. Mediante la modelación con EPANET, se identificó que el flujo disminuye durante las primeras horas del día debido a la baja demanda, lo que provoca una reducción considerable en los niveles de cloro residual.

concluyó que el agua suministrada a las parroquias Buenavista y La Victoria no alcanza los niveles adecuados de cloro libre residual (CLR) según lo estipulado por la norma INEN 1108 durante el periodo entre medianoche y las 9:00 de la mañana.

2.2. Decreto Legislativo N°1280

El D.L. N°1280 (2017) nos menciona lo siguiente:

Artículo 1.- Objeto y Finalidad de la Ley

La finalidad de esta ley es garantizar que las disposiciones que regulan la prestación de servicios de saneamiento en todo el territorio nacional, tanto en áreas urbanas como rurales, cumplan con ciertos objetivos. Entre estos se encuentra asegurar un acceso universal, mejorar la calidad del agua y promover la prestación de estos servicios de forma eficiente y sostenible, incorporando principios de protección ambiental e inclusión social para el bienestar de las comunidades.

Artículo 2.- Los sistemas y procedimientos que comprende los servicios de saneamiento, están conformados de acuerdo con los siguientes puntos:

1. Servicio de Agua Potable:

- a)** El sistema de agua está comprendido por los componentes de captación, almacenamiento del agua, la conducción de agua cruda; un tratamiento de cualquier tecnología y conducción del agua tratada.
- b)** El sistema de distribución de agua está comprendido por los procesos de: almacenamiento (reservorio), la entrega y medición al usuario según el sector urbano o rural en cualquier tecnología.

Artículo 14.- Prestación de los servicios de saneamiento en el sector rural

14,1. La prestación de los servicios de saneamiento en el sector rural es manejada por la municipalidad competente, de manera directa o a través de las oficinas de las Unidades de Gestión Municipal (UGM) o de manera indirecta a través de las organizaciones comunales que son las Juntas Administradoras de Servicios y Saneamiento (JASS), conforme a lo establecido por el reglamento y normas sectoriales.

Artículo 24.- Garantía de continuidad y calidad de los servicios

24,1. Los proveedores de servicios de saneamiento asumen la responsabilidad de garantizar tanto la continuidad como la calidad de los servicios que ofrecen, en conformidad

con las condiciones establecidas en los contratos y regulaciones pertinentes. La SUNASS es la entidad encargada de definir los procedimientos necesarios para asegurar su correcta implementación. Asimismo, estos proveedores establecen un compromiso con los usuarios para cumplir con dichas obligaciones según lo estipulado por la normativa vigente.

Artículo 26.- Gestión ambiental

En el inciso 26,1 menciona que los prestadores de servicios de saneamiento llevan a cabo la implementación de tecnologías adecuadas para los tratamientos de agua potable y aguas residuales, a fin de cumplir los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental aplicables de acuerdo ley para evitar las contaminaciones de las Fuentes que receptionan el agua promoviendo su reúso.

2.3. Decreto Supremo N°031-2010-SA

(D.S. N°031 Salud Ambiental, 2010) menciona lo siguiente;

Artículo 1°. - El objetivo del reglamento es establecer las disposiciones generales en relación con la calidad del agua para su consumo, con la finalidad de garantizar la salud, previniendo factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de los usuarios.

Artículo 2°. – Como por objeto en base al arreglo de la Ley N.º 26842 - Ley General de Salud, el presente reglamento tiene los siguientes puntos:

- Gestión integral para asegurar la calidad del agua.
- Monitoreo y vigilancia sanitaria del recurso hídrico.
- Supervisión y control de los estándares de calidad del agua.
- Fiscalización de permisos, registros y aprobaciones sanitarias relacionadas con los sistemas de suministro de agua potable.
- Evaluación de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua destinada al consumo humano.
- Promoción de la accesibilidad y divulgación de información sobre el estado de la calidad del agua potable para garantizar un consumo seguro.

Artículo 59°. El agua destinada al consumo humano debe cumplir con los estándares de calidad establecidos en la normativa y no representar ningún riesgo para la salud..

Por su parte, el **Artículo 62** detalla los parámetros de origen inorgánico que no deben exceder los límites máximos permitidos. En la **Tabla 1** se destacan los datos relacionados con el cloro, elemento central de este estudio.

Tabla 1. 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)

Artículo 63°. – También se tiene que los Parámetros de Control Obligatorio (PCO) son para todos los proveedores o prestadores de servicio de agua, y que deben registrarse en los siguiente:

- a) Coliformes totales
- b) Coliformes termotolerantes
- c) Color
- d) Turbiedad
- e) Residual de desinfectante
- f) pH

De realizarse una prueba de coliformes termotolerantes y es positiva, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, para su confirmación que hay contaminación fecal.

2.4. Elementos de un SAP

2.4.1. Sistema de Agua Potable

La red hidráulica es un sistema complejo compuesto por tuberías interconectadas que garantizan el transporte y suministro directo de agua hacia los usuarios del servicio. Estas están diseñadas para cumplir con los requisitos de calidad del agua, presión adecuada, flujo constante y continuidad del servicio (Guanuchi y Ordoñez, 2017).

Según la Comisión Nacional de Agua ([CNA], 2018), una red de distribución de agua potable incluye integración de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el reservorio hasta las conexiones domiciliarias.

2.4.2. Captación de ladera

Es aquel de donde el agua aflora desde una superficie inclinada puede ser puntual o dispersa esta Fuente de agua debe tener una protección del afloramiento para que no se mezcle el agua con algún sólido circundante por otra parte también está presente una cámara húmeda que es donde se almacena el agua que será distribuida y también se regula el caudal.

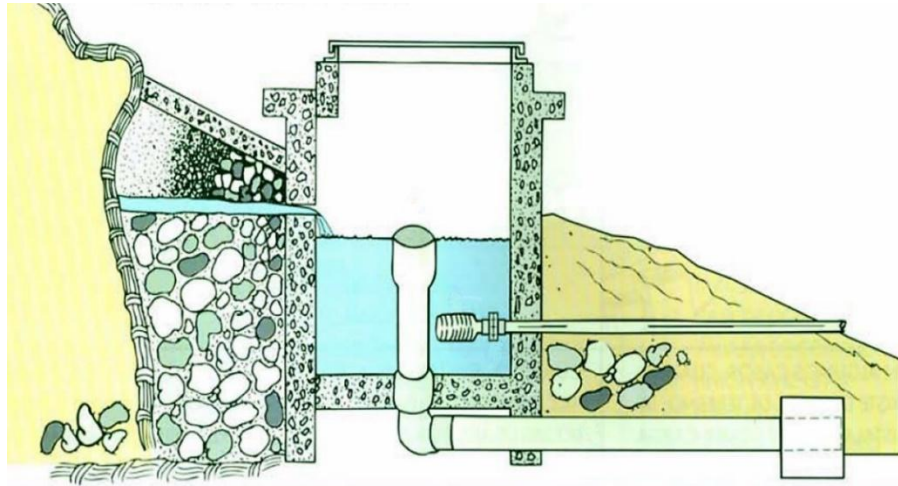


Figura 1. Sistema de captación de agua de laderas.

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, 2018

2.4.3. Cámaras rompe presión tipo 6

Es aquella ubicada entre la captación y el reservorio, su función es reducir la presión en las tuberías a fin de que éstas no se dañen, generalmente se utilizan para fuertes desniveles por ejemplo de hasta 50 m

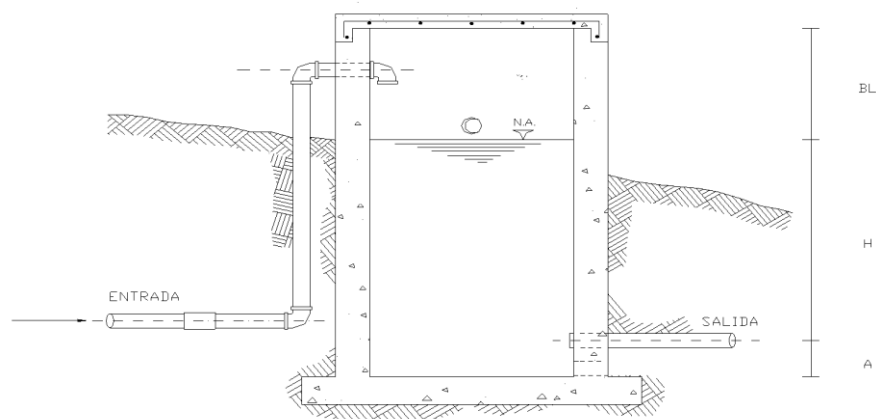


Figura 2. Cámara rompe presión tipo 6.

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, 2018

2.4.4. Línea de conducción

En los sistemas de transporte por gravedad, el agua fluye a través de una tubería que conecta el punto de captación con el depósito de almacenamiento. Cuando la fuente sea de agua superficial, la planta de tratamiento se encuentra ubicada a lo largo del trayecto de la conducción.



Figura 3. Línea de conducción.

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, 2018

2.4.5. Reservorio rectangular.

En un sistema de abastecimiento por gravedad, las tuberías son responsables de trasladar el agua desde el punto de captación hasta el reservorio. Cuando la fuente de agua es superficial, la planta de tratamiento se sitúa a lo largo de la trayectoria de estas tuberías.

2.4.6. Cámaras rompe presión tipo 7

Tiene por objetivo asegurar que el agua destinada al consumo humano llegue a las redes de distribución con presiones apropiadas, con volúmenes suficientes para responder a las fluctuaciones en la demanda. También, deben contar con una reserva adicional para enfrentar emergencias, como incendios, interrupciones temporales en el suministro o fallos parciales en las instalaciones de tratamiento.

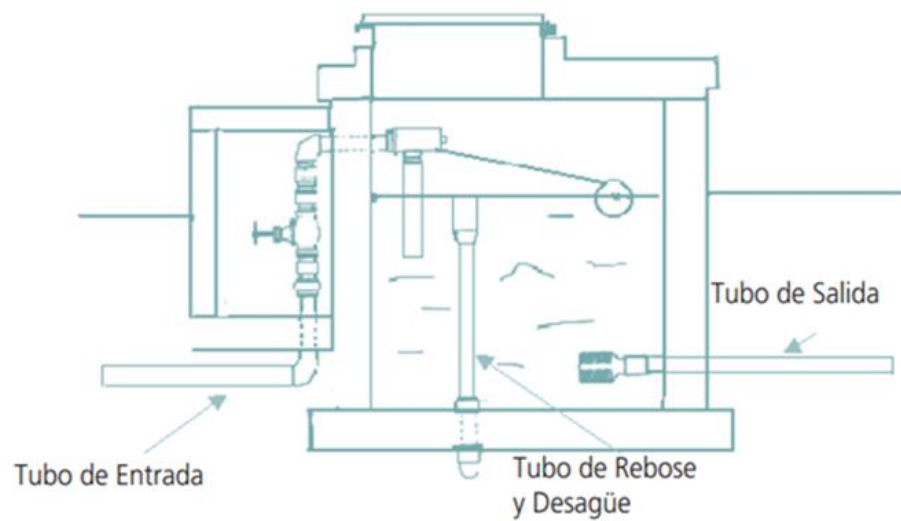


Figura 4. Cámara rompe presión tipo 7

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, 2018

2.4.7. Línea de distribución

Sistema compuesto por tuberías principales y ramales secundarios para facilitar el suministro el agua potable a los hogares.

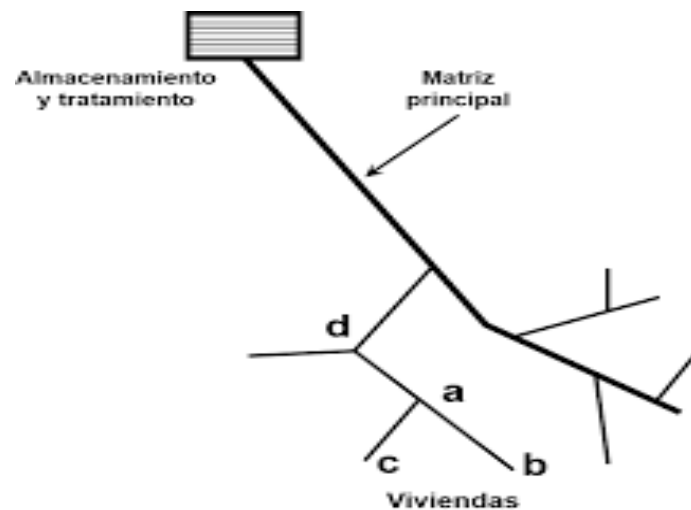


Figura 5. Red de distribución

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, 2018

2.5. Dinámica del consumo de agua potable

Es importante con respecto a la dispersión del cloro en el SAP porque el coeficiente de mezcla está muy ligado a los caudales de repartición y estos caudales a su vez

están muy influenciados por la dinámica del consumo de agua potable, por ello es importante analizar estos patrones.

El uso del agua depende de múltiples factores, los cuales varían en su importancia según el contexto. Entre ellos, se encuentran los aspectos climáticos, como temperatura, cantidad de lluvia y humedad ambiental; los sociales, que incluyen la cantidad de personas por hogar, la estructura familiar, el nivel educativo y la posición social; los económicos, relacionados con los ingresos familiares, el costo del agua y los patrones históricos de consumo; y los culturales, vinculados al estilo de vida, los valores, la educación, las normas sociales y las creencias respecto al comportamiento ambiental. Todos estos elementos influyen de manera diversa dependiendo de las circunstancias específicas.

2.6. Leyes de la conservación

2.6.1. Ecuación de continuidad

Expresa la conservación de la masa en sistemas cerrados donde no hay acumulación, ni generación, ni pérdidas. Asumiendo una densidad constante durante el flujo en una tubería a través del punto 1 y 2, la masa del fluido puede quedar expresada como se muestra a continuación (Mott, 2006)

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (1)$$

2.6.2. Conservación ideal de la energía

En los fluidos se expresa por la carga piezométrica, tanto por la presión del flujo, la altura y la velocidad (Mott, 2006)

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

La ecuación anterior no considera la generación o pérdida de carga durante el flujo y también se la conoce como la ecuación de Bernoulli.

2.6.3. Conservación de la energía general

Esta considera las pérdidas y las ganancias de carga, de manera general se asume que la ganancia de carga es gracias a una bomba y que las pérdidas de carga son causadas por la fricción en la tubería y por los accesorios del sistema (Mott, 2006).

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{\gamma} + h_a = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{\gamma} + h_f + h_L \quad (3)$$

Donde h_a Representa la carga suministrada al flujo mediante una bomba, h_f representa la pérdida de carga debido a la fricción de tubería y h_L representa la pérdida de carga por los accesorios menores como pueden ser válvulas, codos, etc.

2.7. Hidrodinámica de tuberías

2.7.1. Régimen de flujo

A un fluido que viaja en capas o láminas adyacentes sin que éstas se mezclen o choquen entre sí, se le conoce como flujo *laminar*, por otra parte, para los fluidos que viajan de forma caótica cuyas capas o láminas adyacentes entre sí están mezclándose y chocando constantemente se le conoce como *flujo turbulento*. Para el flujo a través de una tubería el régimen de un flujo puede determinarse a partir del número de Reynolds (Mott, 2006).

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\eta} \quad (4)$$

Donde v : velocidad del fluido, D :diámetro de la tubería, ρ : densidad del fluido y η es la viscosidad del fluido. De acuerdo con Mott. (2006), para números de Reynolds menores a 2000 el flujo es considerado laminar, para números de Reynolds. mayores a 4000 el flujo es considerado turbulento y para flujos entre 2000 y 4000 el flujo es considerado crítico.

2.7.2. Ecuación de Darcy-Weisbach

Usa la longitud del flujo, diámetro de la tubería, velocidad del flujo y un coeficiente de fricción:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

para el cálculo del coeficiente f existen muchas fórmulas para diferentes rangos del número de Reynolds sin embargo existe un diagrama que relaciona el número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad de la superficie con el coeficiente de fricción f , a este diagrama se le conoce como diagrama de Moody y se puede ver en la figura 8.

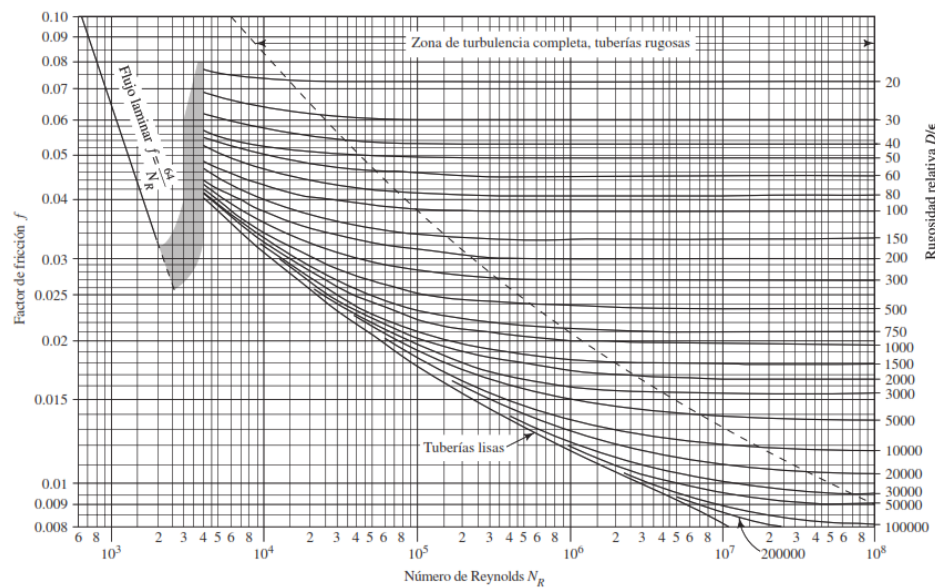


Figura 6. Diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de fricción f

Fuente: Mott (2006)

Se debe tener las siguientes consideraciones (Mott, 2006):

- Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa, (D/ϵ) el factor de fricción f disminuye.
- Para una rugosidad relativa (D/ϵ) , el factor de fricción f disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
- Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tienen ningún efecto sobre el factor de fricción.
- Conforme se incrementa la rugosidad relativa (D/ϵ) , también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa

A continuación, se reporta la lista de valores del coeficiente de rugosidad de superficies para la ecuación de Darcy-Weisbach:

Tabla 2. Valores de diseño de rugosidad en tuberías.

Material	Rugosidad ϵ (m)
Vidrio	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$

Hierro dúctil, no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,3 \times 10^{-3}$

Fuente: (Mott, 2006).

2.7.3. Pérdida de carga por accesorios menores

Los accesorios menores son importantes en un SAP porque siempre son usados en la red, por lo tanto, considerar su contribución en la pérdida de energía será fundamental en el entendimiento del comportamiento del agua en la red (Mott, 2006). La ecuación general de la pérdida de energía es la siguiente:

$$h_r = k \times \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Tabla 3. Coeficientes de pérdida de componente menores.

Componente	Coeficiente de pérdida k (m)
Válvula de Globo, completamente abierta	10,00
Válvula angular, completamente abierta	5,00
Válvula de retención, completamente abierta	2,50
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,20
Válvula de compuerta, tres cuartas partes abierta	1,15
Válvula de compuerta, mitad abierta	5,60
Válvula de compuerta, un cuarto abierto	24,00
Válvula de mariposa, completamente abierta	0,30
Válvula de Diafragma, totalmente abierta	2,30
Válvula de diafragma, tres cuartos abierta	2,60
Válvula de diafragma, mitad abierta	4,30
Válvula de diafragma, un cuarto abierto	21,00
Válvula reductora de presión	10,00
Codo de radio corto	0,90
Codo de radio medio	0,80
Codo de radio largo	0,60
T estándar, 90 °	1,80
Codo de 45 °	0,40

Curva de retorno cerrada	2,20
T Estándar - flujo a través del centro	0,60
T Estándar - flujo a través de los laterales	1,80
Entrada con bordes Redondeada	0,04
Entrada con bordes biseladas	0,25
Entrada con bordes en escuadra	0,50
Entrada con proyección de tubo	1,00
Filtro y válvula de pie	2,50
Salida	1,00

Fuente: (Santos Tellez, 2012)

2.8. Dinámica del cloro residual en los SAP

El cloro es un producto químico relativamente inestable y reacciona fácilmente con diversos compuestos orgánicos e inorgánicos (por ejemplo, amoníaco, sulfuros, hierro ferroso, manganeso y material húmico), lo que provoca su disipación gradual en el sistema de distribución. Las reacciones del cloro con la materia orgánica pueden producir subproductos indeseables, como los trihalometanos (THM).

El consumo de cloro residual en el sistema de distribución está influenciado por una serie de factores. Los factores que se citan a menudo son (1) el consumo de cloro al reaccionar con productos químicos orgánicos e inorgánicos, (2) el consumo de cloro debido a las reacciones con las biopelículas adheridas a la pared de la tubería de distribución, (3) el consumo de cloro en el proceso de corrosión, y (4) el transporte en masa de cloro y otros reactivos entre el flujo masivo y la pared de la tubería. Un modelo cinético global de primer orden para la desaparición del cloro residual a diferentes tiempos de residencia en la red puede expresarse como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -kC \quad (7)$$

en la que C es la concentración de cloro (mg/L) y k es la constante de decaimiento de primer orden (1/d). El tiempo de residencia se define como la longitud de la tubería dividida por la velocidad media del flujo en la tubería. Integrando la ecuación 1 se obtiene

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (8)$$

en la que C_t es la concentración de cloro (mg/L) en el momento t , C_0 es la concentración inicial de cloro (mg/L) y t es el tiempo de residencia en la tubería (días). La constante global de decaimiento del cloro k refleja los cuatro factores citados anteriormente. Por tanto, es específica del lugar y debe verificarse mediante mediciones sobre el área de estudio (Vasconcelos et al., 1997). Los valores de k que varían con la calidad del agua, la temperatura del agua, la velocidad del flujo, el material de la tubería, la superficie mojada, la temperatura, el tipo de revestimiento interior, del diámetro de la tubería y el caudal volumétrico de entrada (Vasconcelos et al., 1997).

El consumo de cloro por reacción con productos químicos orgánicos e inorgánicos en la fase acuosa de la masa está bien definida en la literatura. Algunas de las sustancias químicas reaccionan con bastante rapidez el resto se puede definir como un simple proceso de desintegración de primer orden o en mucha menor medida, un proceso de velocidad de segundo orden. Las biopelículas que se adhieren a las paredes de las tuberías pueden provocar una pérdida significativa de cloro residual con el paso del tiempo. Las biopelículas pueden ser muy importantes, especialmente en presencia de nitrificación. Se obtuvieron excelentes correlaciones entre los valores medidos y las predicciones del modelo. Este modelo puede expresarse como

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -R - kC \quad (9)$$

Donde R es la demanda de cloro de la pared de la tubería causada por la corrosión (mg/L/d).

2.8.1. Cinética de reacciones

Cinética de reacción en la masa del agua.

El modelo de primer orden de decaimiento de cloro por consumo de la masa de agua es ampliamente utilizado, en el que la tasa de descomposición es proporcional a la concentración de cloro restante:

$$\frac{\partial C}{\partial t} |_{bulk} = -k_b C \quad (10)$$

Cinética de reacción de la pared.

El enfoque adoptado para modelar las posibles reacciones del cloro con el material que se encuentra en la pared de la tubería o se desprende de ella supone que la zona de reacción activa se encuentra en la propia pared o en una capa molecular adyacente. Las

moléculas de cloro libres (o combinadas) se transportan desde el flujo de masa hasta la pared y pueden reaccionar según una cinética de primer orden o de orden cero. La reacción de primer orden se caracteriza por un coeficiente de velocidad con unidades de longitud divididas por el tiempo (por ejemplo, m/d), que equivale a una relación entre la masa por unidad de volumen, masa por unidad de superficie de la pared por unidad de tiempo. Si este coeficiente se denota como $k_{w,1}$, entonces la velocidad de reacción en la pared en unidades de concentración por tiempo es igual a:

$$\frac{\partial C}{\partial t}|_{wall} = -\frac{k_{w,1}C_w}{r_h} \quad (11)$$

en la que C_w :concentración de cloro en la pared, r_h : radio hidráulico de la tubería (el recíproco de la superficie por unidad de volumen). Cuando no hay limitación de la transferencia de masa, C_w es la misma que la concentración de cloro en el flujo volumétrico, C .

Para una reacción de orden cero en la pared, la velocidad de reacción en la pared se describe mediante una constante, $k_{w,2}$, con unidades de masa por área de la pared por unidad de tiempo (por ejemplo, mg/m²/d). En ausencia de limitaciones de transferencia de masa, la tasa de pérdida de cloro desde el flujo de masa hacia la pared sería

$$\frac{\partial C}{\partial t}|_{wall} = -\frac{k_{w,0}}{r_h} \quad (12)$$

El modelo de primer orden de la pared podría representar mejor un proceso en el que el cloro es el reactivo limitante, como podría ser el caso de las reacciones que implican compuestos orgánicos complejos que se encuentran en las enzimas exocelulares y los productos metabólicos producidos por la biopelícula en la pared de la tubería. En cuanto al modelo de orden cero representaría mejor el caso en el que el cloro oxida inmediatamente algún reductor (como el compuesto ferroso) y la velocidad depende de la rapidez con la que el reductor es producido por la tubería. Este mecanismo se aplicaría más probablemente a las reacciones inducidas por la corrosión. En la actualidad no existe ningún procedimiento sencillo de laboratorio para estimar los coeficientes de reacción de las paredes de las tuberías en un sistema de distribución; en su lugar, los datos de campo se utilizan para ajustar los valores de los coeficientes asumidos a los datos.

2.8.2. Cinética de transferencia de masa.

La velocidad de reacción aparente en la pared puede verse influida por la velocidad a la que el cloro puede ser transportado desde el flujo de masa hasta la pared. Este proceso puede representarse mediante un modelo de transferencia de masa resistente a la película que mantiene que, a lo largo de una tubería, la velocidad a la que el cloro es transportado hidrodinámicamente a la pared es proporcional a la diferencia entre la concentración a granel y la concentración en la pared, es decir

$$\frac{\partial C}{\partial t} |_{mass\ transfer} = -\frac{k_f}{r_h}(C - C_w) \quad (13)$$

Donde k_f : coeficiente de transferencia de masa con unidades de longitud divididas por el tiempo.

Los coeficientes de transferencia de masa suelen expresarse en términos de un número adimensional de Sherwood (Sh):

$$k_f = Sh \frac{D}{d} \quad (14)$$

en la que D es la difusividad molecular de la especie transportada y d: diámetro de la tubería. Una fórmula empírica ampliamente citada para el número de Sherwood para el flujo turbulento en tuberías es:

$$Sh = 0,023Re^{0,83}Sc^{0,33} \quad (15)$$

Siendo R:el número de Reynolds y Sc:número de Schmidt (igual a la viscosidad cinemática del agua dividida por D). En un flujo laminar completamente desarrollado, el número de Sherwood medio a lo largo de la longitud de una tubería puede expresarse en forma de solución en serie infinita de la ecuación de transferencia de calor bidimensional análoga con flujo de calor radial. En Edwards et al. se ofrece un ajuste paramétrico a esta solución.

$$Sh = 3,65 + \frac{0,0668(d/L)ReSc}{1 + 0,04[(d/L)ReSc]^{2/3}} \quad (16)$$

Coeficiente global de decaimiento de cloro

La tasa de disminución de cloro depende esencialmente de los dos coeficientes mencionados anteriormente:

$$K = k_b + \frac{2k_wk_f}{R_H(k_w + k_f)} \quad (17)$$

Donde K : coeficiente global de decaimiento del cloro asumiendo una reacción de primer orden, k_b : coeficiente de reacción del cloro con la masa de agua en contacto, k_f : coeficiente de transferencia de masa y k_w .

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

Este estudio se desarrolló en el Centro Poblado La Florida, ubicado en el distrito de Sinsicap, provincia Otuzco del departamento La Libertad.

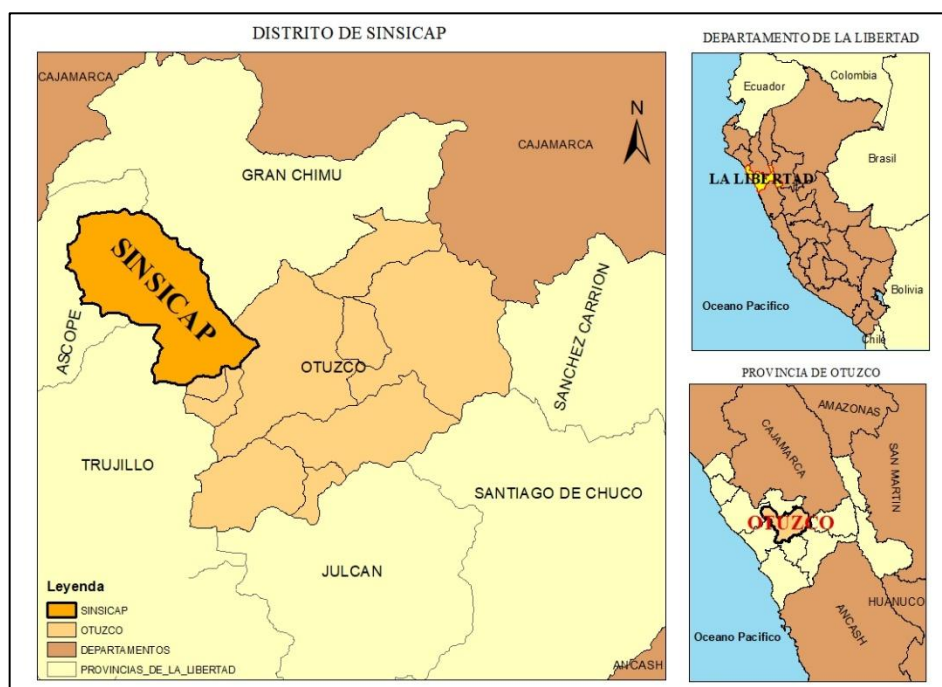


Figura 7. Mapa de ubicación del lugar de estudio.

3.1.2. Ubicación geográfica

La investigación se localiza en el sistema de geoprocesamiento UTM WGS84 Zona 17 M, según la Tabla 4, mostrado a continuación:

Tabla 4. Georreferencia del Centro Poblado La Florida - Sinsicap - Otuzco - La Libertad

	Coordenadas UTM (WGS84-17M)		
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
La Florida	755 565	9 134 169	3 573

En la Tabla 5, se observan las coordenadas UTM de 23 viviendas seleccionadas de una población de 72 viviendas abastecidas por la red de agua potable en el Centro Poblado La Florida.

Tabla 5. Georreferencia de las viviendas muestreadas de La Florida.

Viviendas muestreadas	Coordenadas UTM (WGS84-17M)		Altitud (msnm)
	Este (m)	Norte (m)	
5	756 809,94	9 134 322,71	3 605,00
6	756 577,66	9 134 300,89	3 565,64
9	756 565,74	9 134 111,96	3 590,00
10	756 510,15	9 134 876,01	3 609,62
19	756 385,81	9 134 831,34	3 592,65
20	755 764,76	9 134 620,90	3 587,63
28	755 662,60	9 134 532,38	3 560,00
32	755 546,05	9 134 403,01	3 570,13
34	755 633,34	9 134 156,36	3 520,00
38	755 625,49	9 134 108,48	3 515,00
41	755 590,22	9 134 072,13	3 510,27
45	755 561,51	9 134 035,62	3 513,07
48	755 471,15	9 134 304,44	3 564,89
51	755 381,91	9 134 235,13	3 564,37
53	755 410,70	9 133 688,57	3 505,28
56	755 163,00	9 133 930,00	3 547,39
57	755 090,31	9 133 881,47	3 534,38
58	754 116,68	9 134 605,69	3 518,28
61	754 561,42	9 134 862,07	3 659,64
66	754 525,90	9 134 885,41	3 655,59
67	754 068,16	9 134 593,59	3 515,00
70	756 096,40	9 134 278,81	3 525,34
71	757 064,64	9 134 850,65	3 645,28

En la Figura 8, se visualiza la ubicación de las viviendas muestreadas de la red de agua potable del Centro Poblado La Florida

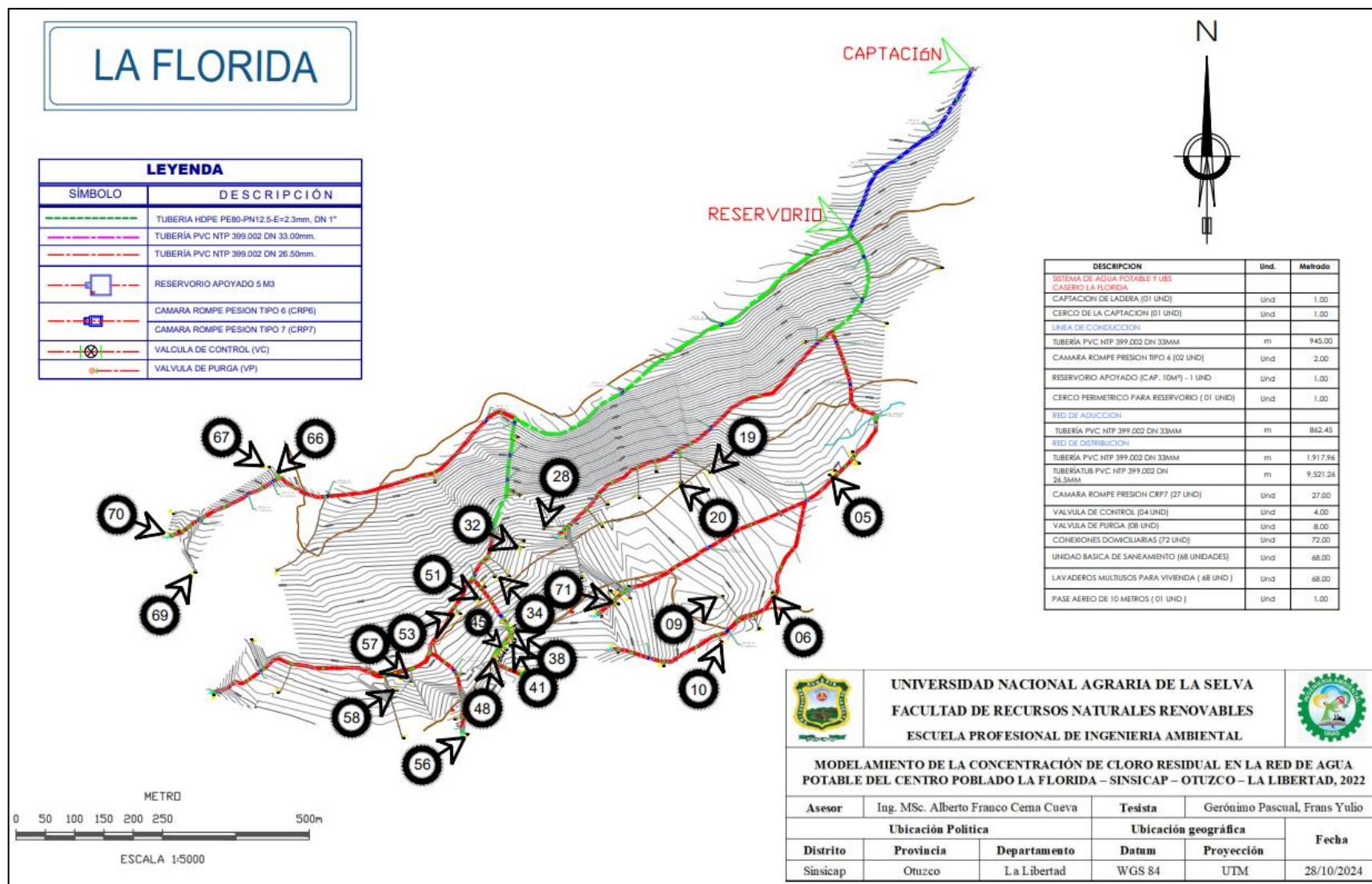


Figura 8. Ubicación de las viviendas muestreadas

3.1.3. Clima

En el distrito de Sinsicap está compuesto por diferentes vertientes andinas, desde los 1000 msnm hasta los 3800 msnm, de clima templado subhúmedo con temperaturas superiores a los 20°C y mínimas hasta los -1°C, precipitaciones por debajo los 500 mm/año (Alcántara, 2016).

3.2. Materiales y equipos

- Botellas de vidrio
- GPS (Garmin - ETREX 22X)
- Clorímetro (Lovibond – MD100)
- Hipoclorito de calcio (70%)
- pH – metro (HANNA instruments – HI98108)
- Cinta métrica
- Baldes (4L y 20L)
- Cronómetro

3.3. Criterios de Investigación

3.3.1. Nivel de investigación

Esta investigación es nivel predictivo, ya que tiene como propósito el prever o anticipar situaciones futuras manera eficaz para poner a prueba la hipótesis y la clave del futuro desarrollo de los acontecimientos. (Sampieri et al., 2006)

3.3.2. Tipo de investigación

Es tipo descriptivo, (Sampieri et al., 2006) afirma que únicamente pretende medir o recoger la información de manera independiente o conjunto como también el investigador puede seleccionar una serie de conceptos que serán las variables y que por último los resultados sirvan para describir el fenómeno de interés.

3.3.3. Variables del estudio

Variables independientes

- Red de distribución de agua potable
- Coeficiente de reacción del cloro con la masa del agua
- Coeficiente de reacción del cloro con la pared de la tubería

Variable dependiente

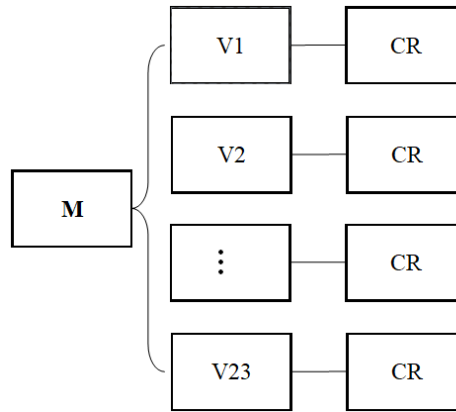
- Cloro residual

Variables intervinientes

Perfil de consumo horario y Topografía del terreno.

3.3.4. Diseño de la investigación

El diseño es no experimental, puesto que en este estudio, el investigador se centra en la medir los parámetros de campo, recoger información necesaria para su posterior aplicación en el programa WaterGEMS, sin realizar ninguna manipulación directa de las variables, y es del tipo transversal porque se determinara la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua en un momento específico como se muestra en la Figura 9, lo que posibilita la descripción detallada del comportamiento de esta variable en el sistema analizado.



Leyenda: [M]: Muestreo (48hr, 72hr, 96 hr y 120 hr); [V1, V2..., V23]: Viviendas muestreadas; [CR]: Cloro Residual

Figura 9. Diseño de investigación.

3.3.5. Población y muestra

La comparación de las concentraciones del cloro residual medidos versus las concentraciones predichas por el modelo tiene como unidad de análisis las viviendas por lo que la población estadística en esta tesis está representada por todos los usuarios empadronados que consumen el agua potable en el centro poblado cuya cantidad de 72 viviendas. El criterio para incluir a las viviendas fue que los habitantes son socios de la JASS. El tamaño de muestra es el siguiente:

$$n = \frac{z_{1-\alpha/2}^2 \times C^2}{d^2 + z_{1-\alpha/2}^2 \times C^2 / N} \quad (18)$$

Donde $z_{1-\alpha/2}^2$ es la puntuación z para un nivel de confianza $1 - \alpha$, C es la proporción entre la desviación estándar y el promedio en una muestra piloto, d es el margen

de error en las mediciones y N es el tamaño total de la población. Para $\alpha = 0,05$; $d = 0,05$; $C = S/X = 0,1266$ y $N = 72$ el tamaño de muestra es 22,98 o 23 viviendas.

La población fue 72 viviendas, la muestra fue 23 de acuerdo con el número de padrón de manera aleatoria. Las viviendas seleccionadas son: 66, 32, 53, 28, 19, 51, 61, 6, 67, 48, 9, 71, 38, 20, 58, 41, 56, 70, 5, 57, 34, 10 y 45. Al ser una aleatorización, no existe criterio de inclusión o exclusión

3.3.6. Análisis estadísticos

Lo que se busca con el análisis estadístico es determinar si existe diferencias significativas en la concentración de cloro residual observado con la concentración de cloro residual obtenido mediante modelamiento, por lo que la prueba estadística que se ajusta mejor al objetivo de la búsqueda es la prueba de t de student pareada de 2 colas teniendo como hipótesis lo siguiente:

H_0 : No existe diferencias significativas entre las concentraciones de cloro residual observado y las obtenidas mediante modelamiento.

H_a : Existe diferencias significativas entre las concentraciones de cloro residual observado y las obtenidas mediante modelamiento.

3.4. Metodología

3.4.1. Reconocimiento de la red de agua potable

El reconocimiento fue mediante el plano del SAP que fue obtenido de la Municipalidad Distrital de Sinsicap, posteriormente se realizó el recorrido de toda la red establecida en el plano, para su reconocimiento y verificación de la existencia de alguna extensión no consideradas (nodos, tuberías, accesorios o construcciones nuevas) del cual se hizo registro. Asimismo, se registró todas las observaciones posibles como pudieron ser:

- Presencia de fugas
- Ingreso de sustancias ajenas a la red
- Presencia de óxido en elementos accesorios metálicos
- Redes y nodos no considerados en el plano del SAP
- Construcciones no consideradas en el plano del SAP

Toda la información recogida durante el reconocimiento del SAP fue acompañada de su ubicación geográfica (coordenadas) y de la codificación del número de nodo, tubería o accesorio.

3.4.2. Simulación del comportamiento hidráulico

La simulación hidrodinámica fue mediante el software WaterGEMS y tuvo como finalidad encontrar la presión, la velocidad y el caudal en toda la red de agua potable y más precisamente en los nodos de alimentación de agua a las viviendas ya que esta información es indispensable para realizar modelaciones de cloro residual en el SAP.

Para realizar la simulación hidrodinámica la información utilizada fueron los planos del SAP en donde se identificó claramente los nodos, las tuberías, los accesorios y las construcciones, también fue necesario contar con la topografía del terreno, el perfil de consumo de agua horario para realizar la simulación que varía en el tiempo y finalmente la información del caudal de reparto desde el reservorio.

La información necesaria de los componentes para que se pueda ejecutar el modelo está contemplada en la Tabla 6.

Tabla 6. Información requerida para modelamiento hidráulico.

Componente	Información requerida
Nodos	Cota
	Demanda de agua
Tuberías	Diámetro
	Material (Coeficiente de rugosidad)
Reservorio	Dimensiones
	Elevaciones (base, mínima, inicial, máxima)
	Área de la base
Válvulas	Ubicación
	Tipo de válvula
Topología de la red	Conexiones
	Tipo de tuberías

En los periodos estático y extendido se realizaron las simulaciones.

3.4.2.1. Determinación de los perfiles de consumo de agua

Se determinó los perfiles de consumo de agua potable de las viviendas del centro poblado, siendo el método más común la construcción del perfil a partir de medidores de caudales conectados a las viviendas sin embargo como se trata de un contexto rural se construyó este perfil mediante una encuesta a las viviendas seleccionadas anteriormente en la muestra.

Las actividades consideradas cuando se tomen los datos en las viviendas fueron: lavado de ropa, lavado accesorios de cocina, consumo personal para el aseo, sin embargo, también se les preguntó específicamente el tipo de actividades en el que consume agua y de manera aproximada la cantidad utilizada. En cuántas las medidas los envases más frecuentes utilizados en las zonas rurales son los baldes de 20 litros (medianos) y los baldes de 4 litros (pequeños), de modo que se les preguntó cuántos baldes pequeños o medianos ha utilizado para una determinada actividad y cuánto tiempo le tomó esa actividad, también se le preguntó por la frecuencia semanal ya que hay actividades como por ejemplo el lavado de ropas que se realiza en una sola vez por semana.

3.4.2.2. Calibración del modelo hidráulico

Posterior a la modelación y primera simulación se obtuvo como resultado los caudales los cuales fueron comparados con los caudales medidos en las viviendas seleccionadas en el muestreo estadístico, el caudal observado en las viviendas se midió con el método volumétrico. Al comparar los caudales de la primera simulación con los caudales observados los valores fueron significativamente diferentes por lo que se procede a calibrar el modelo hidrodinámico.

La calibración del modelo se realizó de manera automática utilizando el complemento del software WaterGEMS llamado Darwin®Calibrator, con esta herramienta se ajustó los coeficientes de rugosidad en las tuberías tomando como valores máximos y mínimos los recomendados en estudios anteriores. El esquema del proceso de la simulación y calibración hidrodinámica del sistema de agua potable se muestra en la figura 12.

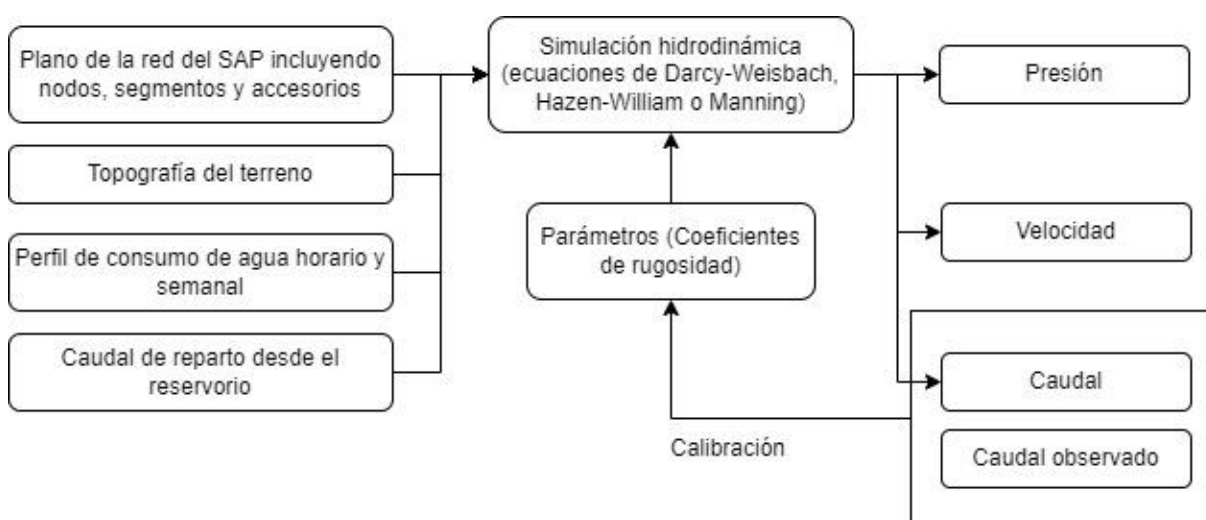


Figura 10. Esquema de la simulación/calibración hidrodinámica del SAP

3.4.3. Calibración de los parámetros del modelo para la predicción del cloro residual

3.4.3.1. Determinación del coeficiente de reacción del cloro con la masa del agua

Siguiendo lo propuesto por García et al., (2021), para determinar el coeficiente de reacción de la masa del agua con cloro k_b se realizó un procedimiento experimental llamado prueba de botella. Para este procedimiento, una vez recolectada la muestra, se midió la concentración de cloro y se registró la hora de inicio (medición en campo). Posteriormente se midió la concentración de cloro a intervalos de 15 minutos hasta que la concentración de cloro tienda a cero (medición en laboratorio). Con esta prueba se determinó k_b debido a la reacción del cloro con la masa de agua.

Los datos medidos se procesaron mediante el ajuste de curvas utilizando Excel, y se construyó la curva de decaimiento de tipo exponencial. Luego se determinó k_b después del ajuste de la curva exponencial, usando la Ecuación (1). Para la determinación de cloro se utilizó un dispositivo de medición digital portátil el Clorímetro MD 100 basado en la determinación colorimétrica DPD.

Los puntos de muestreo de agua utilizados para evaluar k_b se determinaron de acuerdo con el muestreo explicado anteriormente.

El muestreo se realizó en 6 CRP -6, para ello las botellas fueron preparadas previamente lavándose con una solución concentrada de hipoclorito de calcio a la concentración de 10 mg/L y se dejó reposar 24 h. Posteriormente, las botellas fueron vaciados y enjuagaron con agua destilada y se dejó secar.

3.4.3.2. Determinación del coeficiente de reacción del cloro con la pared de la tubería

El coeficiente k_w se determinó indirectamente, primero se determinó el coeficiente global de decaimiento de cloro K . El coeficiente K se determinó mediante pruebas de campo para las cuales se seleccionó un tramo de tuberías de la red primaria (sin ramales) de diámetro constante y longitud conocida. Seguidamente se calculó la concentración de cloro en los extremos de las tuberías y junto con el caudal para calcular la velocidad del flujo. La tasa de decaimiento general de primer orden se calculó de acuerdo con la Ecuación (20):

$$K = \frac{v}{L} \ln \left(\frac{C}{C_0} \right) \quad (19)$$

Donde, K es el coeficiente global de decaimiento de cloro; v : velocidad del flujo en la tubería seleccionada, L : longitud de la tubería, C :concentración de cloro residual en la salida de la tubería y C_0 :concentración de cloro residual a la entrada de la tubería.

Con las ecuaciones descritas se determinaron los coeficientes k_w y k_f , asimismo, el procedimiento descrito anteriormente, se realizó un total de 10 repeticiones en un tramo de la red de agua potable de La Florida.

3.4.4. Simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua potable

3.4.4.1. Determinación del cloro residual.

Para el modelamiento de cloro residual fue medido en los horarios de 48hr, 72hr, 96hr y 120hr, durante tres meses una vez por mes, siguiendo las recomendaciones de DIGESA (2015), se utilizaron potes de vidrio con boca ancha de 500 mL esterilizados.

En el momento de la toma de muestras, el frasco se enjuagó con agua proveniente del punto específico a muestrear, se realizaron mediciones in situ de cloro residual. Además, se verificó que no haya dispositivos extraños al grifo y se aseguró de que no haya fugas.

El procedimiento empleado para medir el cloro en los grifos consistió en varias etapas. Primero, se desinfectó el grifo, tanto por dentro como por fuera, utilizando alcohol al 70%. Seguidamente por 2 minutos se dejó correr agua para eliminar cualquier líquido estancado en la tubería, garantizando así la pureza de la muestra. Seguidamente, el grifo se abrió parcialmente y se llenó una botella inclinada a 45 grados. Por último, se midió el cloro residual empleando el Clorímetro MD 100.

Con dichos resultados obtenido se procedió a comparar con los resultados de la simulación en el WaterGEMS, para posteriormente realizar la calibración de cloro residual en la simulación final del cloro residual de la Red de Agua Potable del Centro Poblado La Florida. En la figura 13, se muestra el esquema general del modelamiento del cloro residual.

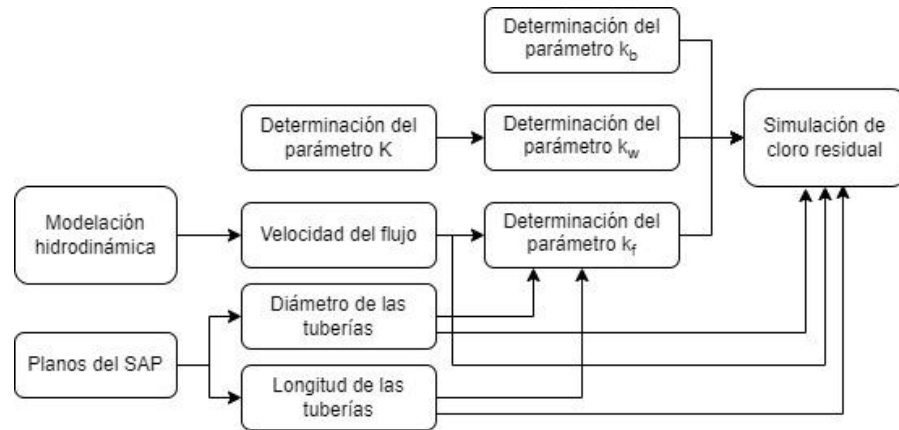


Figura 11. Esquema general del modelamiento de cloro residual.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Reconocimiento de la red de agua potable

Se realizó el reconocimiento, diagnóstico del Sistema de Agua Potable del Centro Poblado “La Florida”, en la tabla 10 se observa un resumen de lo encontrado en campo, con mayor detalle se muestra en el Anexo C. Asimismo, se evidenció que la JASS cumplen con las labores de mantenimiento, lo que se evidencia en el estado de conservación de sus estructuras, desde su captación, reservorio hasta la conexión domiciliar se encuentra en buenas condiciones.

Tabla 7. Reconocimiento de la red de distribución de agua potable de Rutuna.

Componente	Descripción	Figura
Captación 757 708,04 E 9 136 692,88 N 4 020 m.s.n.m	Cuenta con un cerco perimétrico en un muy buen estado, en general se mantiene limpio y la pintura está en buen estado.	
Reservorio 757 148,16 E 9 135 969,57 N 3 900 m.s.n.m	Estructuralmente el reservorio está en buenas condiciones, debido a las actividades de mantenimiento y limpieza que se dan de manera frecuente, tiene cerco perimétrico que es en base a tubos y enmallado de acero galvanizado que están en condiciones óptimas. El sistema de cloración es por goteo de buen estado de conservación, ya que fue implementado en el año 2023 por el ATM.	



Red de distribución

Línea de aducción

Conta inicial
757 708 E
9 136 692 N
Cota final
757 148 E
9 135 969 N

Posee CRP VII en buenas condiciones, pero sin cerco perimétrico. De manera global la red de distribución está en buen estado, no se encontró presencia de fugas o tuberías expuestas.

Línea de conducción

Cota inicial
756 396 E
9 134 958 N
Cota final
754 075 E
9 134 581 N

La red de agua potable cuenta es de 16,9 km de extensión, de ello 4,6 km corresponden a tuberías con un diámetro de 26,5 milímetros, mientras que los restantes 12,4 km están constituidos por tuberías de 33 mm de diámetro.



El estado del sistema de abastecimiento de agua potable es un factor determinante de calidad del agua distribuida. Por esta razón, es fundamental llevar a cabo labores de mantenimiento regulares que prevengan el deterioro de las estructuras, ya que, como indican Paredes (2022) y Tuero y Huamaní (2022), el deterioro estructural puede provocar la pérdida del cloro residual, lo que afecta la calidad del agua. En el caso del Centro Poblado "La Florida", se ha observado que las labores de mantenimiento preventivo y correctivo se realizan de manera constante, de acuerdo con el Plan Operativo Anual de la JASS. Esto es coherente con lo

recomendado por SUNASS (2020), que establecen mantenimientos, la limpieza y la desinfección en las infraestructuras de almacenamiento deben ejecutarse al menos cada seis meses. Este cumplimiento contribuye a garantizar una mejor calidad del agua.

Sin embargo, Pérez y Ramos (2018) señalan que una de las principales amenazas para la calidad del agua es falta de mantenimiento adecuado, sumado a ello la limitada capacitación de los trabajadores. Esta afirmación es respaldada por Reyes (2015), quien resalta que la insuficiente formación de los operadores trae consigo operaciones, mantenimientos deficientes en los sistemas, frente a este escenario los componentes del sistema no reciben el cuidado necesario debido, en parte, a la falta de herramientas básicas y manuales técnicos. A pesar de estos problemas observados en otros contextos, el lugar de estudio presenta una gestión adecuada. La Municipalidad distrital de Sinsicap por medio del área técnica municipal ha implementado un programa de capacitaciones y supervisión a las actividades de las JASS, esto ha permitido ofrecer un servicio más eficiente y de mayor calidad.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo que se realiza regularmente en el sistema administrado por la JASS de La Florida parece estar teniendo un impacto positivo en la calidad del agua. Gutiérrez y Domínguez (2023) subraya la importancia de estas acciones preventivas, ya que contribuyen a que el sistema sea más eficiente en cantidad, continuidad y calidad del agua, satisfaciendo así las expectativas de los usuarios y prolongando la vida útil del sistema. Madrid (2017) también concuerda en la relevancia de realizar mantenimiento preventivo y limpiezas periódicas del componente del sistema de agua potable.

4.2. Simulación del comportamiento hidráulico.

Tras verificar que la esquematización de la red fue implementada correctamente y validada por el software WaterGEMS, se procedió a evaluar el modelo hidráulico. Los resultados obtenidos de esta evaluación fueron sintetizados en la tabla 11. Por su parte, las especificaciones de las tuberías utilizadas en el modelo, ingresadas antes de la simulación, se detallan en el Anexo B.

Tabla 8. Resumen del modelo hidráulico.

Componentes		Cantidad
Número de conexiones	Conexiones domiciliarias	72
	Nodos	79
Reservorio		1
Numero de tuberías		190

CRP	CRP-6	2
	CRP-7	27
Válvulas	De Control	04
	De Purga	08

Los resultados de la red de agua potable de La Florida se muestran en el anexo B, además incluyen todos los nodos con sus cotas de terreno y demandas base. Cabe señalar que no todos los nodos presentan demandas base, ya que algunos funcionan únicamente como puntos de conexión entre tuberías. La Figura 14 muestra la red generada en WaterGEMS, utilizada para llevar a cabo tanto el modelo hidráulico como el análisis del comportamiento del cloro residual.

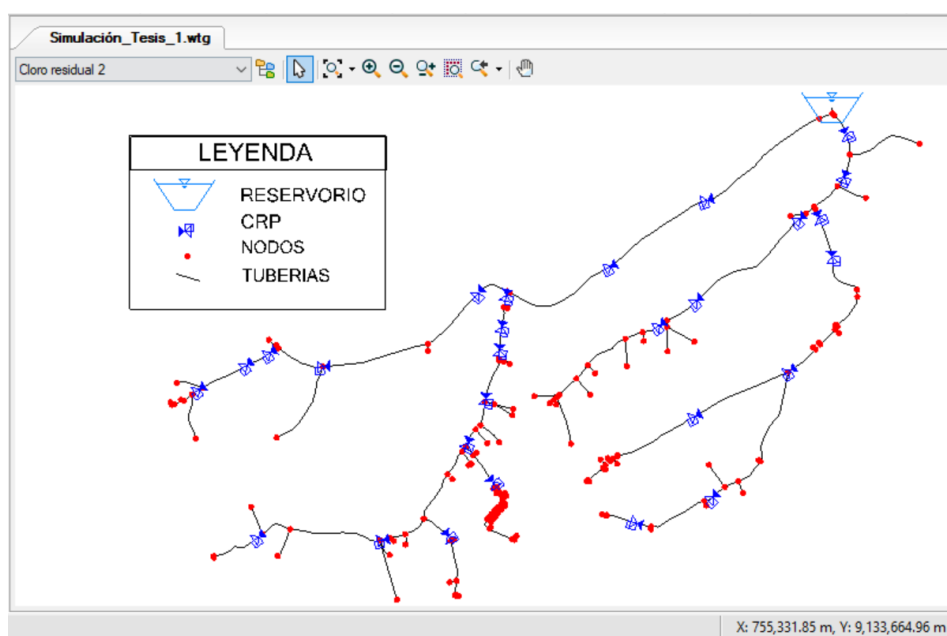


Figura 12. Red de agua potable en el WaterGEMS.

FlexTable: Pipe Table (Current Time: 4.000 hours) (Simulación_Tesis_1.wtg)

	Label	Start Node	Stop Node	Material	Diameter (mm)	Length (m)
343: Tub_1	Tub_1	Nodo_1	PRV-11	PVC	33.0	71.43
266: Tub_2	Tub_2	Nodo_2	Nodo_3	PVC	33.0	16.24
273: Tub_3	Tub_3	Nodo_4	Nodo_2	PVC	33.0	17.36
279: Tub_4	Tub_4	Nodo_4	Viv_45	PVC	26.5	19.18
262: Tub_5	Tub_5	Nodo_5	Nodo_77	PVC	33.0	16.00
282: Tub_6	Tub_6	Nodo_5	Viv_46	PVC	26.5	19.18
294: Tub_7	Tub_7	Nodo_6	Viv_10	PVC	26.5	23.41
297: Tub_8	Tub_8	Nodo_7	Nodo_5	PVC	33.0	24.76
280: Tub_9	Tub_9	Nodo_7	Viv_41	PVC	26.5	19.18
240: Tub_10	Tub_10	Nodo_8	Nodo_7	PVC	33.0	10.61
250: Tub_11	Tub_11	Nodo_8	Viv_40	PVC	26.5	13.01
289: Tub_12	Tub_12	Nodo_76	Viv_38	PVC	26.5	21.45
288: Tub_13	Tub_13	Nodo_44	Viv_37	PVC	26.5	21.41
337: Tub_14	Tub_14	Nodo_9	Viv_8	PVC	26.5	59.23
341: Tub_15	Tub_15	Nodo_9	Nodo_1	PVC	33.0	69.83
371: Tub_16	Tub_16	Nodo_1	Viv_9	PVC	26.5	126.67
406: Tub_17	Tub_17	Nodo_11	Nodo_10	PVC	33.0	450.96
339: Tub_18	Tub_18	Nodo_12	VC03	PVC	33.0	65.21
410: Tub_19	Tub_19	PRV-13	PRV-14	PVC	33.0	550.58
408: Tub_20	Tub_20	PRV-14	VC04	PVC	33.0	544.00
375: Tub_21	Tub_21	Nodo_13	PRV-16	PVC	33.0	150.56
311: Tub_22	Tub_22	Nodo_14	PRV-16	PVC	33.0	22.02

190 of 190 elements displayed

SORTED

Figura 13. Reportes de las tuberías en el software WaterGEMS.

4.2.1. Determinación de perfiles de consumo de agua potable

Tras realizar el cuestionario en las viviendas seleccionadas para el estudio, se procedió a promediar los datos hallados según las horas, con los cual se realizó el perfil de consumo a nivel de todo el Centro Poblado. Por ello en la tabla 12. Se muestran el consumos horario promedio de 23 viviendas evaluadas, se detallan los mínimos, máximos, la desviación estándar y el coeficiente de consumo.

Tabla 9. Consumo horario de las 23 viviendas evaluadas

Hora	Promedio $\pm$ Error Estándar	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Coeficiente
0:00	0	0	0	0	0,35
1:00	0	0	0	0	0,35
2:00	0	0	0	0	0,35
3:00	0	0	0	0	0,55
4:00	5,75 $\pm$ 0,53	1,88	11,37	2,55	0,75
5:00	5,99 $\pm$ 0,81	1,41	13,01	3,89	0,60
6:00	4,73 $\pm$ 0,62	1,23	12,67	2,98	1,00
7:00	9,88 $\pm$ 0,83	3,78	17,88	3,99	1,30
8:00	9,83 $\pm$ 0,78	3,38	18,36	3,74	1,80
9:00	10,9 $\pm$ 0,82	4,58	17,82	3,92	1,90
10:00	6,16 $\pm$ 0,58	2,52	13,81	2,8	1,70

11:00	7,4 ± 0,61	2,26	13,68	2,94	1,75
12:00	5,45 ± 0,57	2,06	11,11	2,75	1,80
13:00	2,06 ± 0,41	0,00	7,08	1,98	1,60
14:00	3,29 ± 0,55	0,00	9,07	2,64	1,60
15:00	3,29 ± 0,55	0,00	9,77	2,62	1,50
16:00	1,58 ± 0,43	0,00	5,76	2,05	1,30
17:00	3,48 ± 0,51	0,00	9,14	2,43	1,20
18:00	4,6 ± 0,59	0,73	10,45	2,81	1,50
19:00	4,21 ± 0,41	0,38	7,44	1,96	1,60
20:00	4 ± 0,55	0,78	10,85	2,65	1,20
21:00	2,19 ± 0,39	0,00	7,25	1,86	1,00
22:00	0 ± 0	0,00	0,00	0,00	0,60
23:00	0 ± 0	0,00	0,00	0,00	0,50

La fluctuación del consumo de agua (L/h) a lo largo de un día completo, representando cada vivienda en muestreada con diferentes colores se observa en la figura 16. Se observa un aumento general en el consumo durante las primeras horas de la mañana, alcanzando picos de más de 15 L/h entre las 7:00 y 10:00 horas. Posteriormente, el consumo disminuye progresivamente hacia la tarde y noche, con algunos picos más bajos que ocurren entre las 16:00 y 18:00 horas. Las líneas representan la variabilidad de consumo entre las diferentes muestras, destacando la alta dispersión en los valores. Este patrón muestra una mayor demanda de agua en las horas de la mañana.

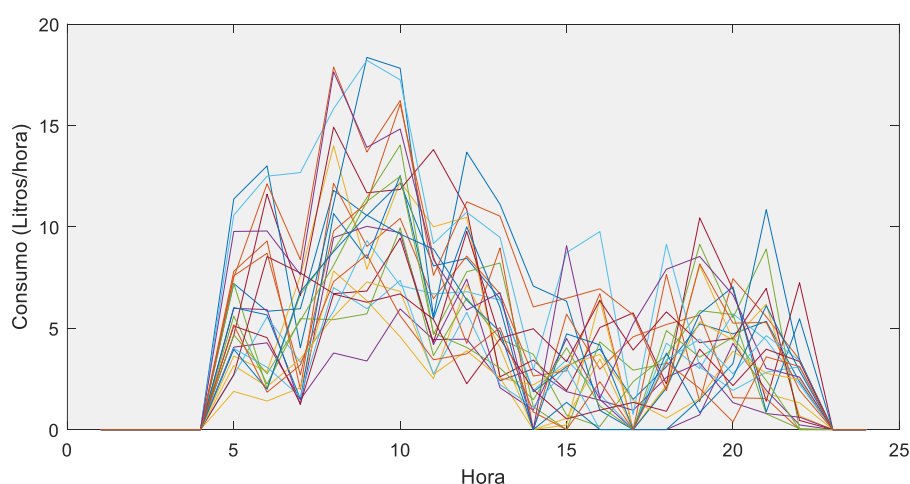


Figura 14. Variación del consumo horario del agua.

La Figura 15, muestra la distribución del consumo de agua en litros por hora durante un día completo, dividida en intervalos horarios. Los rangos de consumo están representados por las cajas que marcan los cuartiles. Los bigotes muestran la variabilidad fuera de los cuartiles, indicando los mínimos y máximos excluyendo los valores atípicos. El consumo más alto se registra entre las 7:00 y 11:00 horas, con un valor máximo cercano a los 18 L/h. El

período de menor consumo ocurre durante las horas de la noche, entre las 0:00 y 4:00 horas, donde el uso es casi nulo.

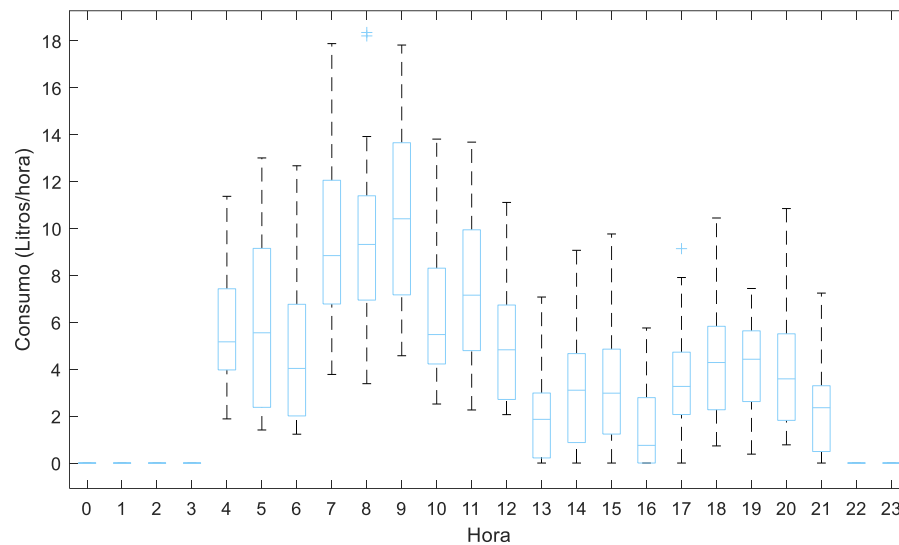


Figura 15. Análisis del Consumo Horario de Agua.

A partir de los datos del consumo promedio por hora (L/h), se realizó una suma total de estos valores. Posteriormente, se calculó el porcentaje de aporte por hora en relación con dicha sumatoria. Esto permitió determinar los coeficientes de consumo horario necesarios para el modelado, los cuales se encuentran detallados en la tabla 12.

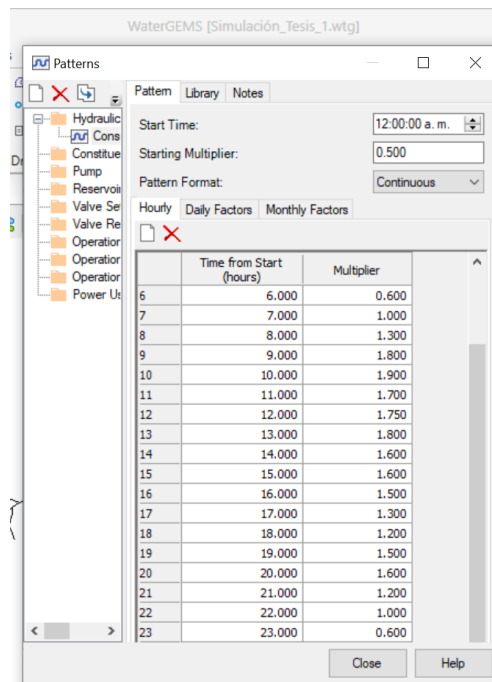


Figura 16. Coeficientes de consumo horario en el WaterGEMS

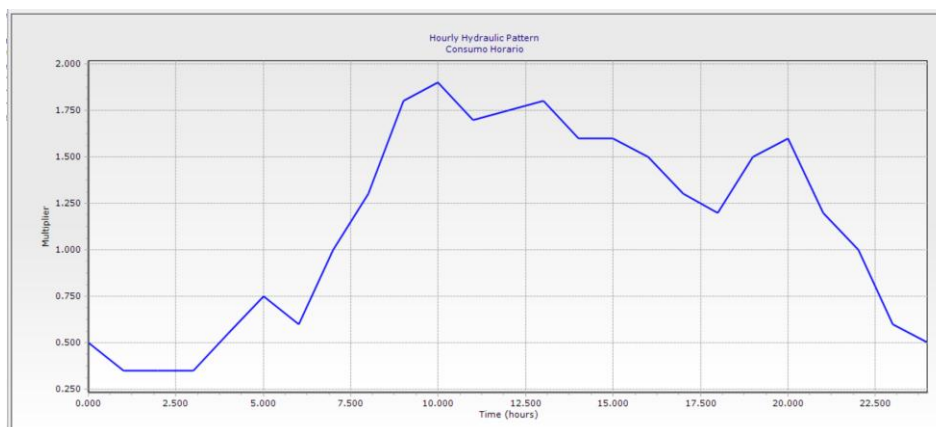


Figura 17. Variación del consumo promedio horario en WaterGEMS.

De acuerdo Paco y Pizarro (2022), Huaquisto y Chambilla (2019) y Guanuchi y Ordoñez (2017), se observan tendencias similares en cuanto a los patrones de consumo de agua en diferentes momentos del día. Todos coinciden en señalar que las primeras horas de la mañana, entre las 6 a.m. y las 10 a.m., son las de mayor demanda, lo que puede atribuirse a las actividades diarias de la población, como el uso del agua para necesidades domésticas y personales. Esta tendencia es evidente en los picos de consumo reportados por Huaquisto y Chambilla (2019), así como en mi propia investigación, donde los mayores valores se registran en este mismo rango horario. Además, Paco y Pizarro (2022) también identifican este incremento, aunque ubican el máximo entre las 9 a.m. y las 12 p.m., lo que puede deberse a diferencias en los hábitos locales o en la metodología de medición.

Sin embargo, los estudios difieren en cuanto a los horarios de menor consumo y los coeficientes observados. Por ejemplo, mientras que Huaquisto y Chambilla (2019) reportan una ausencia total de consumo entre las 7 p.m. y las 5 a.m., Guanuchi y Ordoñez (2017) y Paco y Pizarro (2022) identifican un descenso significativo entre las 12 a.m. y las 3 a.m., periodo que coincide con el menor nivel de actividad de la población. Este contraste puede explicarse por diferencias en la densidad poblacional, la infraestructura del sistema de agua o incluso las características geográficas de las zonas estudiadas, lo que influye en la demanda de agua en cada comunidad.

Por otro lado, los coeficientes de variación horarios también presentan cierta variabilidad entre los estudios. Mientras que Aguilar (2015) reporta coeficientes que oscilan entre 0,17 y 1,98, y Guanuchi y Ordoñez (2017) muestran un rango de 0,4 a 1, Paco y Pizarro (2022) registran valores más amplios, entre 0,21 y 1,810. Estos datos reflejan diferencias en la intensidad de consumo y en las condiciones particulares de cada sistema de

red de suministro de agua. En la investigación, los coeficientes se situaron entre 0,35 y 1,9, mostrando similitudes con los hallazgos de Paco y Pizarro (2022) en cuanto a la variación durante las horas de mayor demanda. Estas discrepancias podrían estar relacionadas con factores como el tamaño de la población, la eficiencia de la infraestructura, y las condiciones climáticas que impactan en el consumo de agua.

4.2.2. Simulación y calibración de parámetros hidráulicos

Para verificar consistencia de datos generados por el modelo formulado, se simuló utilizando un patrón temporal por 72 horas. En los resultados también incluyeron el caudal, velocidad en las tuberías, así como la presión en nodos. Luego se hizo la comparación entre los caudales medidos directamente in situ con los valores simulados correspondientes al mismo horario.

De ello se obtuvo valores de caudales de la simulación hidráulica y se comparó con los obtenidos en campo (caudales observados), con lo cual se realizó la calibración del modelo hidráulico. la comparación de los caudales observados con su respectivo ajuste de datos se puede ver en la figura 20.

La Figura 18, presenta la comparación entre el caudal de agua ajustado y el observado (en L/min) de las 23 viviendas del estudio y las 1000 iteraciones para optimizar los parámetros hidráulicos de la simulación. Los puntos rojos representan los valores ajustados, mientras que los círculos azules indican los valores observados. El área sombreada en azul claro ilustra las iteraciones del modelo utilizado para estimar el caudal. Se observa una variabilidad significativa en los valores a lo largo de las diferentes viviendas, con picos en algunos que superan los 6 L/min. El comportamiento de las iteraciones sugiere fluctuaciones constantes en el caudal, aunque en la mayoría de los casos los valores ajustados y observados tienden a converger. Este análisis es útil para validar la precisión del modelo ajustado en relación con los datos reales.

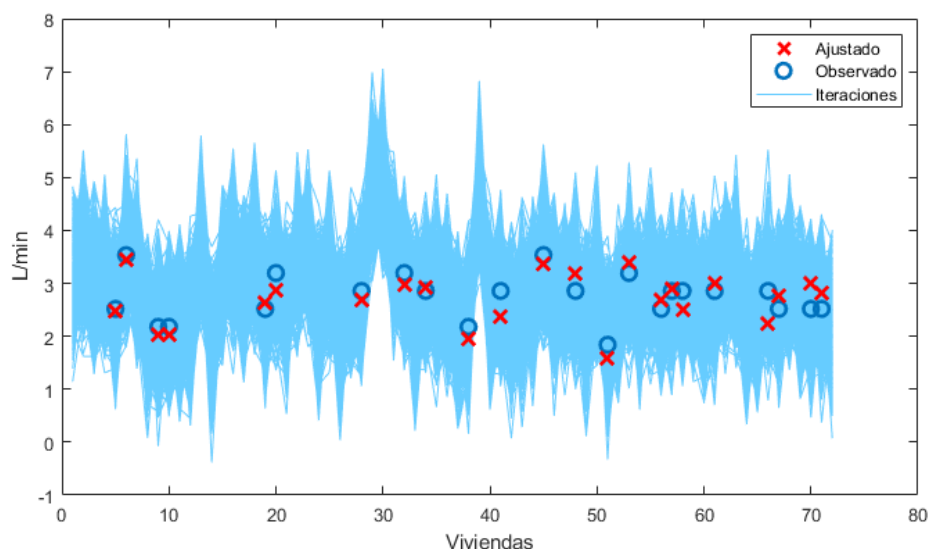


Figura 18. Comparación del consumo de agua ajustado y observado por vivienda.

La Tabla 10, muestra los caudales observados y ajustados (en L/min) para diferentes viviendas, junto con el nuevo coeficiente C de Hazen-Williams ajustado, después de 1000 iteraciones, que ha de usarse en el programa, para continuar con el modelado de cloro residual. Se observa una variación en los valores de caudal ajustado en comparación con los observados, con algunas diferencias significativas, especialmente en viviendas como la 6 y la 67. Los coeficientes C también varían entre 113 y 170, indicando diferencias en las condiciones de las tuberías de cada vivienda.

Tabla 10. Valores de caudales observados y ajustados y coeficiente C ajustado

Vivienda	Caudal Observado (L/min)	Caudal Ajustado (L/min)	Coeficiente C Hazen Williams
5	2,5179	2,4735	165,9
6	3,5348	3,4457	161,4
9	2,179	2,0225	122,1
10	2,179	2,0305	138,8
19	2,5179	2,6391	181,5
20	3,1958	2,8816	138,8
28	2,8569	2,6766	147,8
32	3,1958	2,9739	164,6
34	2,8569	2,9172	172,3
38	2,179	1,948	110,8
41	2,8569	2,3674	155,3
45	3,5348	3,3741	170,6
48	2,8569	3,185	180,5
51	1,84	1,5791	169,0
53	3,1958	3,3963	145,4
56	2,5179	2,6807	168,9
57	2,8569	2,8963	131,8
58	2,8569	2,5045	113,0

61	2,8569	3,0145	106,9
66	2,8569	2,2324	134,9
67	2,5179	2,7635	141,7
70	2,5179	3,0032	160,3
71	2,5179	2,8052	125,7

4.3. Calibración de los parámetros del modelo para la predicción del cloro residual

4.3.1. Determinación del coeficiente de reacción del cloro con la masa del agua

La Figura 19, muestra los resultados de varios ajustes de curvas exponenciales para determinar el coeficiente K_b en función del tiempo (horas) para diferentes valores de cloro residual. En los gráficos, los valores de K_b y el coeficiente de determinación R^2 están indicados, lo que refleja la calidad del ajuste. Los valores de K_b oscilan entre $0,148 \text{ h}^{-1}$ y $0,151 \text{ h}^{-1}$, con valores de R^2 superiores a 0,93, lo que indica un ajuste adecuado para los datos experimentales. La tendencia decreciente en los gráficos muestra la disminución de la concentración del cloro residual a través del tiempo, confirmando que el modelo utilizado captura con precisión el proceso de decaimiento del cloro por su reacción con la masa de agua.

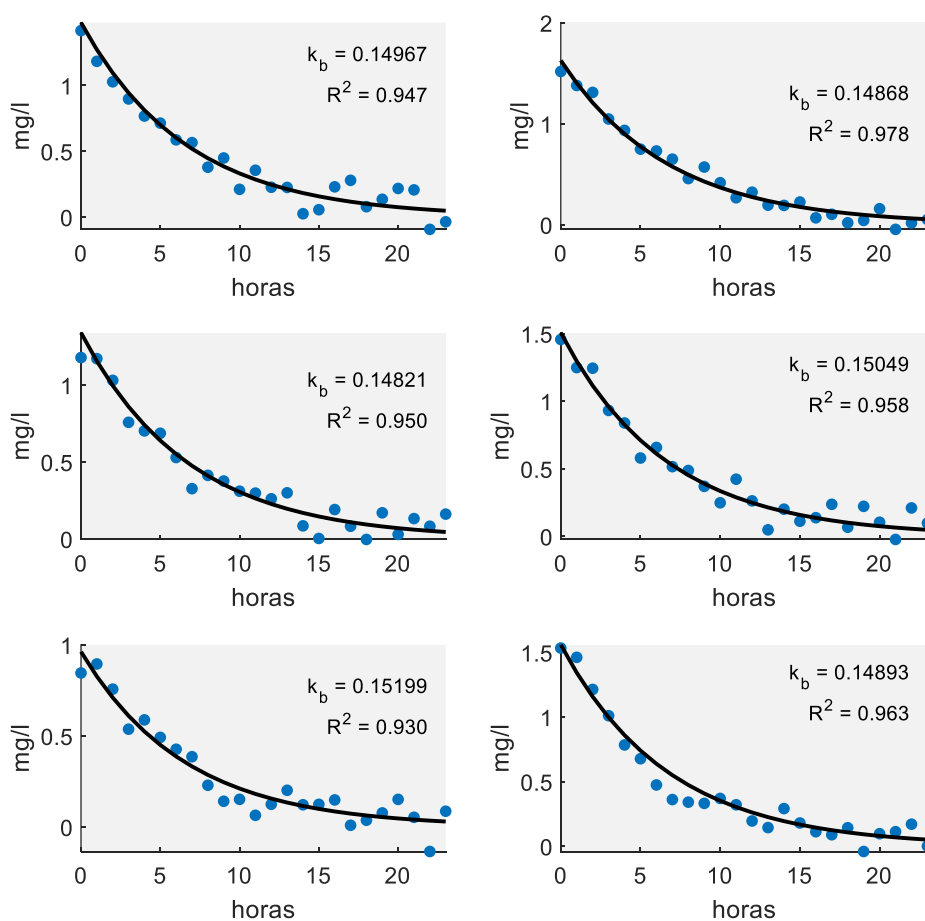


Figura 19. Coeficiente de reacción del cloro con la masa del agua (K_b) ajustado.

Vasconcelos et al. (1997) señala que el consumo de cloro residual en los sistemas de distribución está influenciado por varios factores, como la interacción con productos químicos orgánicos e inorgánicos y las reacciones con biopelículas adheridas a las paredes de las tuberías. En base a esto, el modelado de la descomposición del cloro requiere la determinación de los coeficientes de reacción. En esta investigación, el coeficiente de reacción del cloro fue de $-0,1497 \text{ h}^{-1}$, un valor que se encuentra dentro del rango esperado en comparación con estudios previos. Paco y Pizarro (2022), por ejemplo, obtuvieron un coeficiente promedio de $-0,1541 \text{ h}^{-1}$ en su estudio, lo que resulta muy cercano al valor determinado aquí. Además, estos autores mencionan que diversos estudios de la década de los 90, han demostrado la validez del modelo de primer orden para describir el decaimiento del cloro, con coeficientes de referencia típicos que oscilan entre $-0,1 \text{ día}^{-1}$ y $-1,5 \text{ día}^{-1}$, lo cual concuerda con los resultados de esta investigación.

En comparación, algunos autores reportan coeficientes K_b considerablemente mayores. Por ejemplo, Nizama (2019) obtuvo coeficientes que varían entre $-1,49$ y $-1,525$, siendo estos más alto respecto de los valores obtenidos en esta investigación. Este contraste podría deberse a diferencias en las condiciones locales, como calidad del agua, la composición químicos de productos presentes, o las características del sistema de tuberías en cada sistema de distribución. Vasconcelos et al., (1997) también señala que los coeficientes K_b negativos, como los encontrados en este estudio, indican una reacción de desintegración del cloro, mientras que valores más altos indican una reacción más rápida entre el cloro y los contaminantes en el agua, lo que podría estar relacionado con la presencia de factores externos más intensos en los estudios de Nizama.

En contraste, otros estudios reportan coeficientes de descomposición del cloro significativamente menores que los obtenidos aquí. Mostafa et al. (2013) encontraron un coeficiente de $-0,033 \text{ h}^{-1}$, mientras que Ammar et al. (2014) obtuvieron valores que oscilan entre $0,071$ y $0,086 \text{ h}^{-1}$. Asimismo, Araya y Sánchez (2018) reportaron un coeficiente aún más bajo de $0,0021 \text{ h}^{-1}$. Estos resultados sugieren que en estos contextos las condiciones particulares, como la menor cantidad de materia orgánica en el agua o la mejor calidad del mantenimiento de las tuberías, podrían estar influyendo para reducir la velocidad de descomposición del cloro. Finalmente, Courtis et al. (2009) encontraron valores que varían entre $0,033 \text{ h}^{-1}$ y $0,226 \text{ h}^{-1}$, mostrando una mayor variabilidad dentro de su estudio, pero que también incluye valores menores al de esta investigación.

Los diferentes valores de descomposición del cloro encontrados en varios estudios reflejan cómo las condiciones locales de temperatura, contenido de materia orgánica, antigüedad de las tuberías, prácticas de operación y mantenimiento, tienen alta inferencia en el comportamiento del cloro en los sistemas de distribución. A pesar de las variaciones, los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con estudios previos que utilizaron modelos de primer orden y se encuentran dentro del rango reportado por varios autores, lo que valida la metodología aplicada en este trabajo

Finalmente, algunos autores, como Miguel (2018), optan por no realizar pruebas experimentales y se basan en valores estándar obtenidos en investigaciones previas para sus modelados. Este enfoque, aunque válido, no considera las especificidades locales que pueden influir en la reacción del cloro con el agua. Sin embargo, sus resultados muestran que el uso de estos valores estándar puede representar con precisión los datos de campo, lo cual refuerza la utilidad de los coeficientes típicos en ciertos contextos.

4.3.2. Determinación del coeficiente de reacción del cloro con la pared de la tubería

En la determinación del Coeficiente K se hizo 10 pruebas en distintas secciones de tuberías de la red de agua potable La Florida. En la Tabla 11, presenta los parámetros hidráulicos y resultados de concentración de cloro residual utilizado para cálculos del coeficiente global de decaimiento de cloro K. Los valores de K obtenidos varían entre 0,163 h⁻¹ y 0,216 h⁻¹.

Tabla 11. Coeficiente Global de decaimiento de cloro (K)

Q (L/s)	D (pulgadas)	v (m/s)	C0 (mg/l)	Cf (mg/l)	K (h⁻¹)
2,113	2,00	1,043	1,660	0,417	0,200
1,780	2,00	0,878	1,434	0,294	0,194
2,055	2,00	1,014	1,722	0,529	0,166
1,804	2,00	0,890	1,659	0,350	0,192
1,827	2,00	0,901	1,651	0,426	0,170
2,182	2,00	1,077	1,602	0,390	0,211
1,902	2,00	0,938	1,533	0,292	0,216
1,812	2,00	0,894	1,761	0,378	0,191
1,898	2,00	0,936	1,585	0,302	0,215
1,995	2,00	0,984	1,567	0,477	0,163

A partir de los resultados del Coeficiente K, como se explicó en la metodología se procedió con la determinación de los coeficientes K_f y K_w, cuyos hayasgos se

presentan en la Tabla 12. Dichos coeficientes hallados fueron utilizados en el modelamiento del cloro residual en el WaterGEMS, para el K_b 0,1497 h^{-1} y el K_w 0,0003 m/h.

Tabla 12. Coeficientes de reacción del cloro en la red de agua potable La Florida

Coeficientes	Descripción	Experimentos	Promedio $\pm$ Error Estándar	Mínimo	Máximo
K	Coeficiente global de decaimiento de cloro (h^{-1})	10	$0,1918 \pm 0,006308$	0,1625	0,21592
K_b	Coeficiente de reacción con la masa de agua (h^{-1})	6	$0,1497 \pm 0,0005688$	0,14821	0,15199
K_f	Coeficiente de transferencia de masa (m/h)	10	$0,168 \pm 0,0032226$	0,15675	0,18559
K_w	Coeficiente de reacción con la pared de las tuberías (m/h)	10	$0,0003 \pm 4,02e-05$	8,15E-05	0,0004218

Paco y Pizarro (2022) reportan un valor de K_w de -0,066 m/día, muy cercano al valor obtenido en esta investigación. Este resultado se encuentra dentro del rango típico mencionado por otros estudios de la década de los 90, quienes que reportaron un rango de -0,06 m/día a -1,52 m/día. Además, estos autores sugieren que las diferencias en los valores de K_w , en comparación con otros estudios, podrían estar relacionadas con una mayor concentración de materia orgánica en el agua de este estudio, lo que coincide con la hipótesis que explica la variabilidad en los coeficientes de reacción según las condiciones locales.

Algunos estudios reportan valores de K_w considerablemente mayores. Vasconcelos et al. (1997) encontró que van desde 0,1 hasta 1,5 m/día, lo cual es significativamente superior al valor obtenido en esta investigación. Este rango más amplio podría deberse a variaciones en el tipo de material de las tuberías y calidad de agua utilizada en diferentes sistemas de distribución. Por ejemplo, Tuero y Huamaní (2022) también reportan valores que van desde -1,52 m/día a -0,06 m/día, siendo el valor superior de -1,52 m/día uno de los más altos reportados, lo que sugiere una interacción más intensa del cloro con las paredes de las tuberías, posiblemente debido a una mayor cantidad de materia orgánica o condiciones más adversas en la calidad del agua.

En contraste, varios autores han reportado valores de K_w inferiores al de esta investigación. Por ejemplo, Guanuchi y Ordoñez (2017) obtuvieron un valor de K_w de -0,04 m/día, mientras que García (2019), en su estudio sobre tuberías de PVC, encontró un valor

de K_w de 0,056 m/día. Estos resultados sugieren que en sistemas con tuberías más nuevas o con menor cantidad de materia orgánica adherida, el coeficiente de reacción del cloro tiende a ser menor, ya que las interacciones entre el cloro y las paredes de las tuberías son menos intensas. Inca y Ulloa (2018) también obtuvieron un valor experimental de K_w de 0,065 m/día, lo que se considera dentro del rango de estudios que muestran una menor reacción entre el cloro y las paredes, probablemente debido a una mejor calidad del agua o a condiciones más controladas en el sistema.

Un caso interesante es el de Vega (2019), quien reportó un valor experimental de K_w de -0,30 m/día. Aunque este valor no es el más bajo ni el más alto, muestra una variabilidad significativa en la reacción del cloro con las paredes de la tubería, lo cual puede estar influido por factores como el tipo de tubería y las condiciones operativas. Este valor se encuentra por debajo del valor obtenido en este estudio, pero aún dentro de un rango razonable para los sistemas de distribución de agua potable de tuberías que presentan ciertas acumulaciones de materia orgánica.

En este estudio los resultados están en el rango esperado según estudios previos, y son comparables a investigaciones como la de Paco y Pizarro (2022). Sin embargo, las diferencias observadas con otros autores, que reportan tanto valores mayores como menores, sugieren que las condiciones locales, como el tipo de tubería, calidad del agua y acumulación de materia orgánica, juegan un papel crucial en la determinación del coeficiente de reacción del cloro con las paredes de las tuberías. A grandes rasgos, este estudio proporciona valores consistentes con investigaciones anteriores, lo que respalda la validez de los métodos aplicados para el cálculo de K_w .

Para Tuero y Huamani (2022) mencionan que los valores de Kb y Kw son variables que dependen tanto de las propiedades del fluido como del material del conducto. En la práctica profesional, comúnmente se utilizan valores promedio para estas constantes. Sin embargo, su análisis multivariante reveló que Kb tiene una mayor influencia en la determinación del nivel final de cloro residual.

4.4. Simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua potable

La Tabla 13, presenta la comparación entre los valores de cloro residual observados y simulados (mg/L) en las viviendas seleccionadas, a intervalos de 48, 72, 96 y 120 horas. Los valores simulados (Sim.) están en estrecha limitación con los observados (Obs.), con un error porcentual que disminuye desde el 3,15% a las 48 horas hasta un 0,09% a las 120 horas,

lo que indica un ajuste progresivo y preciso del modelo simulado. La confiabilidad del modelo se ve reflejado con bajos errores porcentual en los resultados de campo y lo simulado, siendo efectivo la simulación en la predicción de niveles de cloro residual con el transcurso del tiempo en la red de agua potable La Florida.

Tabla 13. Comparación del cloro residual observado y simulado

Vivienda	48 horas		72 horas		96 horas		120 horas	
	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.
5	1,05	0,99	1,05	1,18	1,05	1,00	1,05	1,01
6	0,80	0,91	0,80	0,66	0,80	0,77	0,80	0,82
9	0,47	0,40	0,46	0,38	0,46	0,50	0,46	0,46
10	0,50	0,40	0,50	0,47	0,50	0,43	0,50	0,47
19	0,54	0,47	0,54	0,65	0,54	0,52	0,54	0,57
20	0,76	0,71	0,76	0,66	0,76	0,76	0,76	0,75
28	0,45	0,40	0,45	0,43	0,45	0,38	0,45	0,47
32	0,75	0,77	0,76	0,85	0,76	0,77	0,76	0,76
34	0,96	0,95	0,96	0,97	0,96	0,88	0,96	1,00
38	0,88	0,93	0,88	0,91	0,88	0,89	0,88	0,89
41	0,83	0,75	0,83	0,80	0,83	0,85	0,83	0,84
45	0,78	0,85	0,78	0,84	0,78	0,72	0,78	0,76
48	0,71	0,57	0,71	0,78	0,71	0,68	0,71	0,69
51	0,96	1,04	0,96	0,92	0,96	0,99	0,96	1,00
53	0,82	0,80	0,82	0,96	0,82	0,81	0,82	0,81
56	0,38	0,39	0,37	0,42	0,37	0,29	0,37	0,37
57	0,63	0,46	0,63	0,59	0,63	0,63	0,63	0,59
58	0,52	0,41	0,52	0,57	0,52	0,54	0,52	0,54
61	0,35	0,46	0,36	0,32	0,36	0,36	0,35	0,35
66	0,57	0,75	0,57	0,56	0,57	0,59	0,57	0,58
67	0,43	0,40	0,43	0,47	0,43	0,45	0,43	0,42
70	0,35	0,40	0,35	0,27	0,35	0,41	0,35	0,32
71	0,54	0,69	0,53	0,50	0,53	0,48	0,53	0,57
Error porcentual (%)	3,15%		1,32%		2,89%		0,09%	

El análisis realizado muestra que el error porcentual obtenido varía entre 3,15 % y 0,09 %, valores que se consideran aceptables según el criterio establecido por Ochoa y Bourguett (2001), citado por Paco y Pizarro (2022). Según este criterio, un modelo puede considerarse calibrado cuando la diferencia entre lo simulado y los de campo es inferior al ± 20 %.

Los reportes científicos presentan numerosos modelos matemáticos que explican conceptualmente el comportamiento de desinfectantes en sistemas acuáticos (CNA, 2018). De acuerdo con Gutiérrez y Domínguez (2023), estos modelos, cuando se implementan adecuadamente, permiten planificar, operar y gestionar redes de agua potable con mayor

eficiencia. También, facilitan el análisis de comportamiento del desinfectante en la red y determinan dosis óptima de cloro, esto mejora la calidad del agua suministrada (Paco y Pizarro, 2022).

García (2019), Inca y Ulloa (2018) han demostrado que, mediante el modelado del cloro, es posible identificar la dosis ideal que cumple con los estándares de cloro residual establecidos por la normativa. En esta investigación, el software WaterGEMS fue una herramienta clave para simular el comportamiento del cloro residual en toda la red de distribución del Centro Poblado La Florida. Esto no solo permitió observar la dinámica del desinfectante, sino también identificar oportunidades de mejora y proponer proyectos que optimicen el sistema de desinfección del agua, fortaleciendo la calidad del servicio de abastecimiento.

Vásquez (2024) evidencia que los niveles de cloro residual varían significativamente en toda la red de distribución. Altos valores fueron registrados en las viviendas aledañas al reservorio, mientras que los valores inferiores se observan en viviendas distantes. Este patrón coincide con lo señalado por Duarte (2019) y Nizama (2019), quienes explican que el cloro residual disminuye a medida que avanza en la red, debido a las reacciones químicas del cloro con las tuberías y la masa del agua, lo que provoca su decaimiento.

De manera similar, Aguilar (2015), encontró una relación inversa entre la concentración de los desinfectante con la longitud de las tuberías, un comportamiento que se refleja tanto en los resultados obtenidos en el Centro Poblado de La Florida como en diversas investigaciones de García (2019), Huayllani y Zevallos (2021). Estos hallazgos confirman la variabilidad del cloro residual en toda la extensión de la red de distribución es un fenómeno común y está influenciado por factores inherentes al sistema hidráulico y la interacción del cloro con su entorno.

La Figura 20, compara los resultados de cloro residual que fueron del modelo y observados (mg/L) en intervalos de 48, 72, 96 y 120 horas. A medida que avanza el tiempo, se observa una mayor valoración entre los datos simulados y observados, con coeficientes de determinación (R^2) que van desde 0,84 a las 48 horas hasta 0,99 a las 120 horas. Esta mejora en R^2 indica que el modelo de simulación se ajusta mejor con los resultados medidos en campo de cloro residual con el paso del tiempo, proporcionando predicciones más precisas.

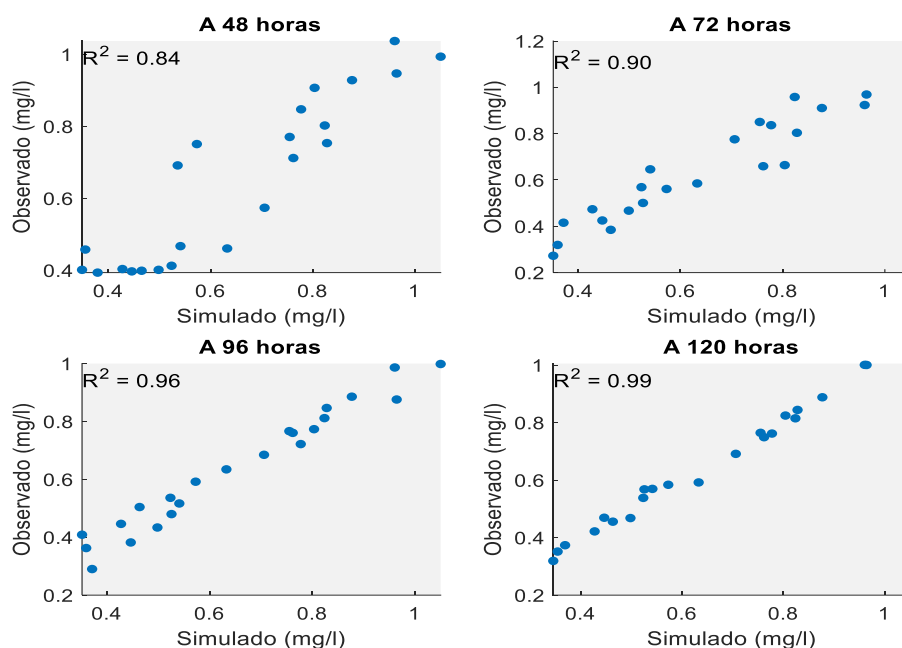


Figura 20. Cloro residual en función del tiempo.

Según la normativa del Ministerio de Salud del Perú, el cloro residual en el agua debe mantenerse entre los valores de 0,5 mg/L y 5 mg/L para garantizar la eliminación de patógenos. Además, cuando se utiliza cloro o soluciones cloradas, el 90 % de las muestras recolectadas mensualmente en cualquier punto de la red de distribución no debe presentar valores menores a 0,5 mg/L de cloro residual, y en el 10 % restante, no deben ser inferior a 0,3 mg/L.

En los resultados obtenidos para el Centro Poblado de La Florida, el 80,74 % de las muestras cumple con los criterios establecidos por la normativa. Del 19,26 % que no cumple, solo una muestra presentó un valor inferior a 0,3 mg/L, lo cual está dentro del margen permitido. De acuerdo a los resultados se infiere que la dosificación de cloro en esta red es adecuada y cumple en general con los estándares regulatorios.

V. CONCLUSIONES

1. Se ejecutó reconocimiento de la red de agua potable del centro poblado de la Florida, donde se encontró que sus estructuras se encuentran en buen estado.
2. Se realizó la simulación del comportamiento hidráulico de la red de agua potable, el cual fue calibrado con los datos de caudal medidos en campo.
3. Los coeficientes de reacción del cloro con la masa de agua y la pared de la tubería fueron hallados experimentalmente y usado en el modelamiento del cloro residual, los valores obtenidos fueron $0,1497 \text{ h}^{-1}$ y $0,0003 \text{ m/h}$, respectivamente.
4. Se simuló la concentración de cloro residual en la red de agua potable, siendo el error porcentual inferior a 20% en cada estación de toma de muestra comparado, por lo que se considera que se logró un modelo óptimo y calibrado.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Continuar con el monitoreo del cloro residual por parte del ATM de la Municipalidad conjuntamente con la JASS durante los meses restantes, asimismo, incluir análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estipulados en la norma para determinar si es apta para consumo humano.
2. El distrito debe continuar brindando asistencia técnica a la JASS La Florida para mantener la calidad del servicio de agua que se viene brindando.
3. Comprar un comparador de cloro para uso exclusivo de la JASS de la Florida, de esta manera el operador puede realizar los monitoreos de cloro y asegurar que no supere ni disminuya de lo establecido en el D.S. N° 031-2010-SA.
4. Implementar mantenimientos preventivos para preservar la infraestructura del sistema de agua potable de La Florida.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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>
- Araya, A., y Sánchez, L. (2018). *Residual chlorine behavior in a distribution network of a small water supply system*. Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development 8: 349-358.
- Alcántara, L. (2016). *Potencialidades turísticas del Distrito de Sinsicap, Provincia de Otuzco, departamento La Libertad; para el desarrollo sostenible del turismo rural comunitario*. [Tesis de Título profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio digital UNT.
- 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>
- Decreto Legislativo N°1280. (2017). La Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Domínguez, L. (2021). *Modelamiento de la calidad del agua potable en la red de distribución de la Parroquia Chanduy mediante el uso del programa WaterCAD* [Tesis de título profesional, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/6937>
- 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
- García, F., Avilés, A., Ordoñez, J., Guanuchi, C., Flores., L., y Ramos, L. (2021). Modeling of residual chlorine in a drinking water network in times of pandemic of the SARS-CoV-2 (COVID-19). *Sustainable Environment Research*, 31(1), 1–15. <https://doi.org/10,1186/S42834-021-00084-W/TABLES/5>

- 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>
- 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>
- Huamán, J., y Contreras, I. (2020). *Evaluación de cloro residual libre en el Centro Poblado de Santa Rosa de Ccochapampa, distrito de Anchonga - Huancavelica* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>
- Huaquisto, S., y Chambilla, I. (2019). Análisis del consumo de agua potable en el Centro Poblado de Salcedo, Puno. *Investigación & Desarrollo*, 19(1), 133–144. <https://doi.org/10,23881/IDUPBO.019,1-9I>
- 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>
- Ministerio de Salud. [MINSA]. (2010). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N°031–2010–SA.

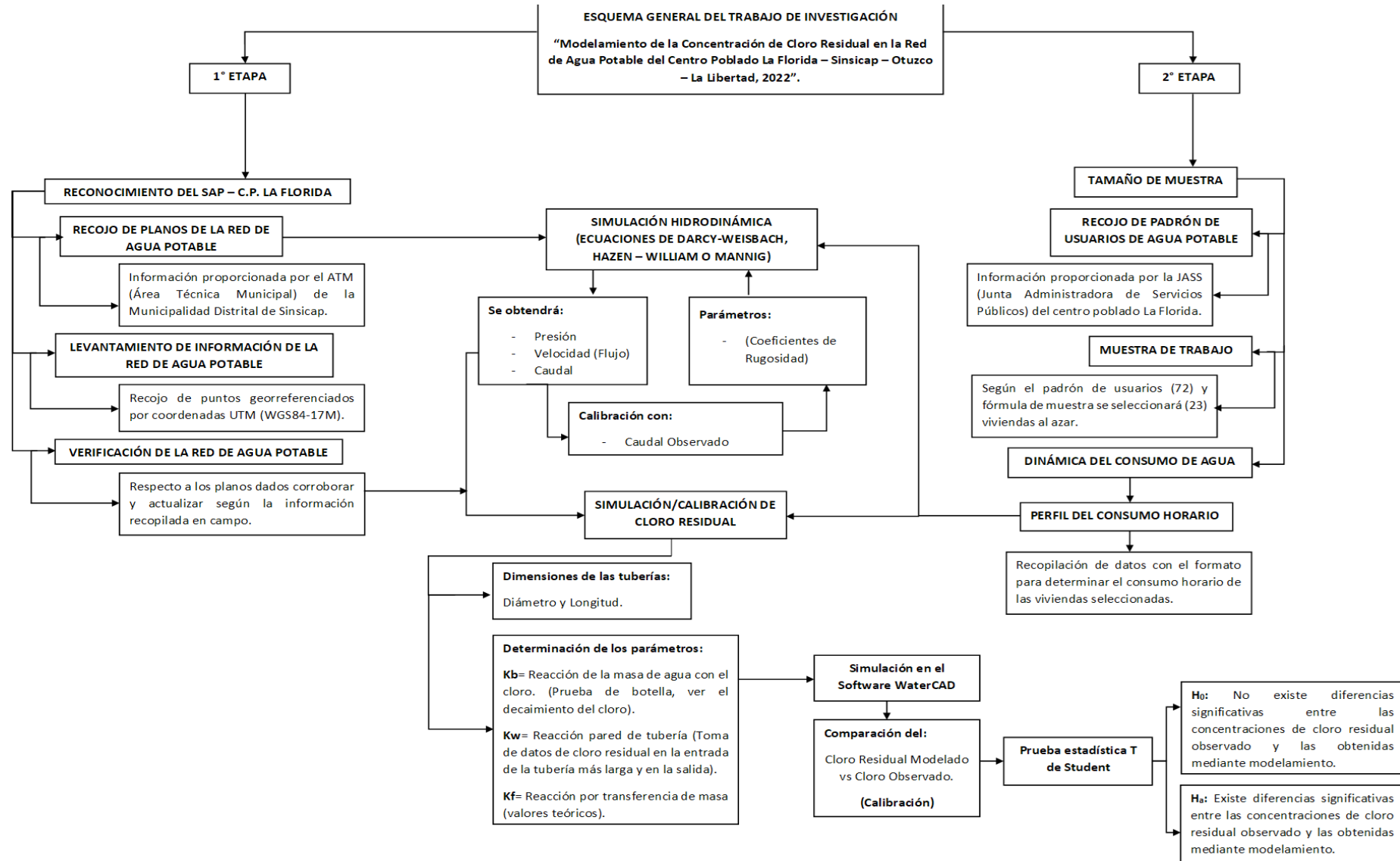
- Mostafa, N., Matta, M., y Halim, H. (2013). Simulation of Chlorine Decay in Water Distribution Networks Using EPANET – Case Study. 3(13).
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluídos* (6ª ed). Pearson.
- MVCS. (2022). *DATASS - Modelo para la toma de decisiones en saneamiento*. <https://datass.vivienda.gob.pe/>
- 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>
- Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, (2018). <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/275920-192-2018-vivienda>
- Ochoa, L y Bourgueett, V. (2001). “Reducción Integral De Pérdida De Agua Potable”, Instituto Mexicano De La Tecnología Del Agua, IMTA, México 2000.
- 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>
- Palacios, J. (2019). *Calibración del modelo del sistema de distribución de agua potable del sector urbano de la ciudad de Huánuco, 2018* [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20,500,13080/5326>
- 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>.
- Rodríguez, Y. (2018). *Modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Rioja, provincia de Rioja para determinar la calidad microbiológica, 2017* [Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto].

<https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3441>

- Sánchez, L., Rodríguez, S., Escobar, J., y Torres, P. (2010). *Modelación del cloro residual y subproductos de la desinfección en un sector piloto del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Cali*. *Ingeniería Y Competitividad*, 12(1), 127–138. <https://doi.org/10,25100/iyc.v12i1,2706>
- Santos, R. (2012). *Modelación de solutos en redes de distribución de agua potable*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2020). *Frecuencia mínima de muestreo de los parámetros que deben ser controlados por las EPS*. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/re15_012cd_expo.pdf
- 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>
- Vasconcelos, J. J., Rossman, L. A., Grayman, W. M., Boulos, P. F., & Clark, R. M. (1997). Kinetics of chlorine decay. *Journal - American Water Works Association*, 89(7), 54–65. <https://doi.org/10,1002/J.1551-8833,1997.TB08259.X>
- Vasquez, B. (2024). *Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna – Pomabamba – Pomabamba – Ancash, periodo enero – abril. 2024*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva Continental]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20,500,14292/2857>.
- Vega, G. (2019). *Determinación del abastecimiento de cloro en función al coeficiente de reacción en pared de tubería, en las redes de distribución de agua potable en la localidad de San Miguel de Monterrey Ancash*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

ANEXOS

Anexo A. Esquema general del trabajo



Anexo B. Detalle de los datos del modelamiento hidráulico

En la **Tabla 14**, se muestra las coordenadas geográficas de todas las viviendas que son abastecidas por el sistema de agua potable del Centro Poblado La Florida.

Tabla 14. Características de las viviendas de la Red de Agua Potable de la Florida

Vivienda	Elevación (m)	X (m)	Y (m)	Vivienda	Elevación (m)	X (m)	Y (m)
Viv_1	3 802,48	757 560,15	9 135 798,03	Viv_37	3 522,15	755 626,56	9 134 170,92
Viv_2	3 765,26	757 310,22	9 135 547,58	Viv_38	3 520,00	755 633,34	9 134 156,36
Viv_3	3 655,00	757 169,06	9 134 955,92	Viv_39	3 568,47	755 665,54	9 134 561,72
Viv_4	3 650,00	757 090,70	9 134 870,92	Viv_40	3 517,05	755 628,68	9 134 120,59
Viv_5	3 645,28	757 064,64	9 134 850,65	Viv_41	3 515,00	755 625,49	9 134 108,48
Viv_6	3 605,00	756 809,94	9 134 322,71	Viv_42	3 569,27	755 493,61	9 134 356,59
Viv_7	3 491,26	755 680,53	9 133 970,88	Viv_43	3 549,47	755 109,45	9 133 946,81
Viv_8	3 605,10	756 737,00	9 134 170,00	Viv_44	3 512,43	755 596,64	9 134 080,70
Viv_9	3 565,64	756 577,66	9 134 300,89	Viv_45	3 510,27	755 590,22	9 134 072,13
Viv_10	3 590,00	756 565,74	9 134 111,96	Viv_46	3 514,00	755 608,23	9 134 090,73
Viv_11	3 560,00	756 308,33	9 134 001,35	Viv_47	3 509,64	755 580,88	9 134 056,65
Viv_12	3 509,29	756 101,08	9 134 063,57	Viv_48	3 513,07	755 561,51	9 134 035,62
Viv_13	3 559,92	756 150,46	9 134 347,18	Viv_49	3 509,57	755 560,00	9 134 010,00
Viv_14	3 535,47	756 150,42	9 134 306,79	Viv_50	3 490,00	755 671,40	9 133 958,29
Viv_15	3 533,49	756 106,06	9 134 332,90	Viv_51	3 564,89	755 471,15	9 134 304,44
Viv_16	3 526,80	756 073,29	9 134 326,51	Viv_52	3 567,39	755 457,44	9 134 300,43
Viv_17	3 530,00	756 020,06	9 134 224,10	Viv_53	3 564,37	755 381,91	9 134 235,13
Viv_18	3 748,99	756 959,80	9 135 462,29	Viv_54	3 531,21	755 390,93	9 133 954,64
Viv_19	3 609,62	756 510,15	9 134 876,01	Viv_55	3 497,13	755 368,84	9 133 753,71
Viv_20	3 592,65	756 385,81	9 134 831,34	Viv_56	3 505,28	755 410,70	9 133 688,57
Viv_21	3 610,48	756 274,09	9 134 879,96	Viv_57	3 547,39	755 163,00	9 133 930,00
Viv_22	3 580,00	756 195,18	9 134 762,51	Viv_58	3 534,38	755 090,31	9 133 881,47
Viv_23	3 582,90	756 047,77	9 134 729,43	Viv_59	3 510,00	755 124,18	9 133 671,44
Viv_24	3 576,65	755 866,21	9 134 582,74	Viv_60	3 512,36	754 567,59	9 133 876,11
Viv_25	3 510,00	755 935,28	9 134 399,85	Viv_61	3 518,28	754 116,68	9 134 605,69
Viv_26	3 568,41	756 026,01	9 134 628,26	Viv_62	3 470,87	754 270,66	9 133 869,16
Viv_27	3 511,88	755 570,43	9 134 044,77	Viv_63	3 531,70	754 444,39	9 134 106,24
Viv_28	3 587,63	755 764,76	9 134 620,90	Viv_64	3 708,30	755 269,98	9 134 833,12
Viv_29	3 732,24	755 640,12	9 135 032,76	Viv_65	3 640,00	754 563,45	9 134 429,60
Viv_30	3 625,76	755 648,84	9 134 771,42	Viv_66	3 659,64	754 561,42	9 134 862,07
Viv_31	3 631,41	755 620,13	9 134 783,22	Viv_67	3 655,59	754 525,90	9 134 885,41
Viv_32	3 560,00	755 662,60	9 134 532,38	Viv_68	3 539,06	754 097,68	9 134 685,19
Viv_33	3 565,50	755 600,81	9 134 406,10	Viv_69	3 515,00	754 185,00	9 134 425,00
Viv_34	3 570,13	755 546,05	9 134 403,01	Viv_70	3 515,00	754 068,16	9 134 593,59
Viv_35	3 530,00	755 574,35	9 134 191,56	Viv_71	3 525,34	756 096,40	9 134 278,81
Viv_36	3 527,97	755 587,76	9 134 168,15	Viv_72	3 655,00	757 186,01	9 134 915,95

En la **Tabla 18**, se muestra la descripción de las tuberías que conforman la red de agua potable del Centro Poblado La Florida, se considera su diámetro y longitud.

Tabla 15. Características de las tuberías de la Red de Agua Potable de la Florida

Tubería	Nodo de inicio	Nodo final	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Tubería	Nodo de inicio	Nodo final	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Tub_1	Nodo_1	PRV-11	33,0	71,43	Tub_96	PRV-5	PRV-7	33,0	630,69
Tub_2	Nodo_2	Nodo_3	33,0	16,24	Tub_97	VC02	PRV-4	33,0	41,10
Tub_3	Nodo_4	Nodo_2	33,0	17,36	Tub_98	PRV-4	PRV-6	33,0	196,77
Tub_4	Nodo_4	Viv_45	26,5	19,18	Tub_99	PRV-7	Nodo_59	33,0	170,22
Tub_5	Nodo_5	Nodo_77	33,0	16,00	Tub_100	PRV-6	Nodo_60	33,0	221,76
Tub_6	Nodo_5	Viv_46	26,5	19,18	Tub_101	PRV-8	Nodo_53	33,0	89,28
Tub_7	Nodo_6	Viv_10	26,5	23,41	Tub_102	Nodo_59	Nodo_52	26,5	30,48
Tub_8	Nodo_7	Nodo_5	33,0	24,76	Tub_103	Nodo_51	Viv_29	26,5	17,51
Tub_9	Nodo_7	Viv_41	26,5	19,18	Tub_104	Nodo_60	VP05	33,0	32,55
Tub_10	Nodo_8	Nodo_7	33,0	10,61	Tub_105	VP05	Nodo_58	33,0	172,43
Tub_11	Nodo_8	Viv_40	26,5	13,01	Tub_106	Nodo_61	PRV-25	33,0	499,68
Tub_12	Nodo_76	Viv_38	26,5	21,45	Tub_107	Nodo_55	Nodo_15	33,0	83,10
Tub_13	Nodo_44	Viv_37	26,5	21,41	Tub_108	Nodo_62	Viv_30	26,5	58,42
Tub_14	Nodo_9	Viv_8	26,5	59,23	Tub_109	Nodo_50	Viv_31	26,5	22,04
Tub_15	Nodo_9	Nodo_1	33,0	69,83	Tub_110	PRV-9	Nodo_11	33,0	10,88
Tub_16	Nodo_1	Viv_9	26,5	126,67	Tub_111	Nodo_63	Viv_5	26,5	16,19
Tub_17	Nodo_11	Nodo_10	33,0	450,96	Tub_112	Nodo_64	Nodo_14	33,0	9,60
Tub_18	Nodo_12	VC03	33,0	65,21	Tub_113	Nodo_14	Viv_67	26,5	56,48
Tub_19	PRV-13	PRV-14	33,0	550,58	Tub_114	Nodo_17	Nodo_64	33,0	232,36
Tub_20	PRV-14	VC04	33,0	544,00	Tub_115	Nodo_64	Viv_66	26,5	17,32
Tub_21	Nodo_13	PRV-16	33,0	150,56	Tub_116	Nodo_61	Viv_64	26,5	33,45
Tub_22	Nodo_14	PRV-26	33,0	32,03	Tub_117	PRV-16	Nodo_61	33,0	337,60
Tub_23	Nodo_15	Nodo_16	33,0	112,07	Tub_118	PRV-10	Nodo_65	33,0	412,71
Tub_24	Nodo_17	Viv_65	26,5	413,37	Tub_119	Nodo_66	VP03	33,0	6,85
Tub_25	PRV-25	Nodo_17	33,0	5,62	Tub_120	Nodo_66	Viv_17	26,5	8,81
Tub_26	PRV-26	PRV-27	33,0	124,36	Tub_121	Nodo_48	Viv_53	26,5	31,58
Tub_27	Nodo_18	PRV-29	33,0	16,46	Tub_122	Nodo_67	Viv_71	26,5	15,44
Tub_28	Nodo_18	Viv_68	26,5	126,58	Tub_123	Nodo_47	Viv_52	26,5	13,47
Tub_29	PRV-27	Nodo_18	33,0	232,78	Tub_124	Nodo_67	Nodo_66	33,0	90,99
Tub_30	PRV-23	Nodo_19	33,0	13,49	Tub_125	Nodo_68	Viv_16	26,5	33,59
Tub_31	Nodo_32	Viv_7	26,5	24,38	Tub_126	Nodo_69	Viv_14	26,5	31,02
Tub_32	Nodo_20	PRV-24	33,0	21,28	Tub_127	Nodo_10	Viv_6	26,5	9,90
Tub_33	Nodo_21	Viv_56	26,5	16,82	Tub_128	Nodo_70	Viv_15	26,5	17,44
Tub_34	Nodo_21	VP07	33,0	5,76	Tub_129	Nodo_70	Nodo_68	33,0	29,11
Tub_35	Nodo_22	Viv_55	26,5	34,28	Tub_130	Nodo_65	Nodo_69	33,0	26,82
Tub_36	Nodo_22	Nodo_21	33,0	64,41	Tub_131	Nodo_65	Viv_13	26,5	4,06
Tub_37	Nodo_23	VP08	33,0	3,04	Tub_132	Nodo_45	PRV-21	33,0	156,79
Tub_38	Nodo_23	Viv_62	26,5	5,91	Tub_133	Nodo_6	Nodo_28	33,0	281,62
Tub_39	Nodo_19	Viv_58	26,5	84,52	Tub_134	Nodo_26	Nodo_22	33,0	191,17
Tub_40	Nodo_34	Nodo_24	33,0	72,33	Tub_135	Nodo_2	Viv_47	26,5	21,93
Tub_41	Nodo_24	Viv_43	26,5	21,52	Tub_136	Nodo_3	Nodo_31	33,0	12,44
Tub_42	Nodo_25	Viv_59	26,5	288,48	Tub_137	Nodo_71	Viv_12	26,5	4,26
Tub_43	Nodo_25	Nodo_29	33,0	427,76	Tub_138	PRV-12	Nodo_71	33,0	146,58
Tub_44	Nodo_26	Viv_54	26,5	16,62	Tub_139	VC01	PRV-2	33,0	105,68
Tub_45	Nodo_19	Nodo_25	33,0	4,04	Tub_140	PRV-2	Nodo_72	33,0	99,29
Tub_46	Nodo_27	VP06	33,0	7,04	Tub_141	1	Nodo_12	33,0	26,35
Tub_47	Nodo_27	Viv_50	26,5	7,84	Tub_142	PRV-3	Nodo_73	33,0	54,32
Tub_48	Nodo_24	PRV-23	33,0	33,40	Tub_143	VC03	PRV-13	33,0	651,19
Tub_49	PRV-24	Nodo_23	33,0	240,98	Tub_144	Nodo_73	Nodo_74	33,0	144,47
Tub_50	Nodo_28	Viv_11	26,5	12,30	Tub_145	Nodo_72	Viv_1	26,5	356,61
Tub_51	Nodo_29	Nodo_20	33,0	150,80	Tub_146	Nodo_72	PRV-3	33,0	107,34

Tub_52	Nodo_20	Viv_63	26,5	137,42	Tub_147	Nodo_12	VC01	33,0	11,96
Tub_53	Nodo_30	Viv_49	26,5	7,92	Tub_148	VC04	Nodo_13	33,0	15,45
Tub_54	Nodo_31	Viv_48	26,5	20,32	Tub_149	Nodo_73	Viv_2	26,5	144,42
Tub_55	Nodo_3	Viv_27	26,5	21,52	Tub_150	Nodo_74	Nodo_75	33,0	50,56
Tub_56	Nodo_30	Nodo_32	33,0	116,96	Tub_151	Nodo_75	PRV-5	33,0	38,11
Tub_57	Nodo_33	Nodo_34	33,0	118,88	Tub_152	Nodo_58	Nodo_56	33,0	19,18
Tub_58	Nodo_33	PRV-22	33,0	140,42	Tub_153	Nodo_75	Viv_18	26,5	72,99
Tub_59	PRV-20	Nodo_35	33,0	17,56	Tub_154	Nodo_63	PRV-9	33,0	154,54
Tub_60	Nodo_36	Viv_33	26,5	119,65	Tub_155	PRV-19	Nodo_40	33,0	14,06
Tub_61	Nodo_37	VP04	33,0	12,01	Tub_156	Nodo_57	Viv_4	26,5	10,91
Tub_62	Nodo_38	Viv_32	26,5	100,22	Tub_157	Nodo_16	Nodo_43	33,0	14,42
Tub_63	Nodo_38	Viv_39	26,5	91,27	Tub_158	Nodo_56	Viv_72	26,5	27,09
Tub_64	Nodo_39	Nodo_37	33,0	47,99	Tub_159	Nodo_57	Nodo_63	33,0	32,50
Tub_65	Nodo_37	Viv_70	26,5	20,34	Tub_160	Nodo_11	PRV-10	33,0	480,83
Tub_66	Nodo_40	Nodo_36	33,0	111,86	Tub_161	Nodo_69	Nodo_70	33,0	15,09
Tub_67	Nodo_41	Nodo_39	33,0	45,66	Tub_162	Nodo_68	Nodo_67	33,0	16,18
Tub_68	Nodo_42	VP01	33,0	24,77	Tub_163	Nodo_71	VP02	33,0	19,53
Tub_69	Nodo_42	Viv_24	26,5	24,45	Tub_164	Nodo_28	PRV-12	33,0	68,98
Tub_70	Nodo_39	Viv_61	26,5	15,82	Tub_165	PRV-11	Nodo_6	33,0	45,23
Tub_71	Nodo_43	Nodo_42	33,0	19,67	Tub_166	Nodo_10	Nodo_9	33,0	141,57
Tub_72	Nodo_43	Viv_25	26,5	227,93	Tub_167	Nodo_13	PRV-15	33,0	18,62
Tub_73	Nodo_16	Viv_28	26,5	115,88	Tub_168	PRV-15	Nodo_51	33,0	57,01
Tub_74	Nodo_15	Viv_26	26,5	100,57	Tub_169	PRV-18	Nodo_62	33,0	40,66
Tub_75	Nodo_41	Viv_69	26,5	214,29	Tub_170	Nodo_62	Nodo_50	33,0	8,06
Tub_76	PRV-29	Nodo_41	33,0	44,37	Tub_171	Nodo_40	Nodo_38	26,5	44,08
Tub_77	Nodo_78	Nodo_79	33,0	27,32	Tub_172	Nodo_36	Nodo_49	33,0	30,25
Tub_78	Nodo_45	Viv_42	26,5	16,67	Tub_173	Nodo_35	Nodo_46	33,0	29,59
Tub_79	Nodo_46	Nodo_47	26,5	69,73	Tub_174	Nodo_46	Nodo_48	33,0	128,26
Tub_80	Nodo_48	Nodo_33	33,0	239,43	Tub_175	PRV-22	Nodo_26	33,0	25,98
Tub_81	Nodo_35	Nodo_45	33,0	52,04	Tub_176	Nodo_47	Viv_51	26,5	4,52
Tub_82	Nodo_49	Viv_34	26,5	84,31	Tub_177	Nodo_32	Nodo_27	33,0	3,39
Tub_83	Nodo_49	PRV-20	33,0	74,13	Tub_178	Nodo_76	Nodo_8	33,0	18,59
Tub_84	Nodo_50	PRV-19	33,0	191,71	Tub_179	Nodo_44	Nodo_76	33,0	16,06
Tub_85	PRV-17	PRV-18	33,0	109,41	Tub_180	Nodo_74	VC02	33,0	11,47
Tub_86	Nodo_51	PRV-17	33,0	94,33	Tub_181	Nodo_77	Viv_44	26,5	17,85
Tub_87	Nodo_52	Viv_19	26,5	145,35	Tub_182	Nodo_29	Viv_60	26,5	140,75
Tub_88	Nodo_52	Viv_20	26,5	113,94	Tub_183	Nodo_34	Viv_57	26,5	50,80
Tub_89	Nodo_53	Viv_21	26,5	40,92	Tub_184	Nodo_55	Viv_23	26,5	51,87
Tub_90	Nodo_53	Nodo_54	33,0	86,46	Tub_185	Nodo_77	Nodo_4	33,0	12,63
Tub_91	Nodo_54	Nodo_55	33,0	218,36	Tub_186	Nodo_31	Nodo_30	33,0	60,21
Tub_92	Nodo_54	Viv_22	26,5	128,18	Tub_187	Nodo_78	Viv_35	26,5	15,50
Tub_93	Nodo_56	Nodo_57	33,0	96,68	Tub_188	Nodo_79	Viv_36	26,5	14,99
Tub_94	Nodo_58	Viv_3	26,5	10,96	Tub_189	PRV-21	Nodo_78	33,0	28,33
Tub_95	Nodo_59	PRV-8	33,0	37,16	Tub_190	Nodo_79	Nodo_44	33,0	14,60

En la **Tabla 16**, se muestra la información de los nodos considerados para el modelamiento hidráulico de la red de agua potable del Centro Poblado La Florida, sin considerar las viviendas que en el software es considerado como nodo, esa información se encuentra en la **Tabla 14**.

Tabla 16. Características de los nodos de la Red de Agua Potable de la Florida

Nodo	Elevación (m)	X (m)	Y (m)	Nodo	Elevación (m)	X (m)	Y (m)
Nodo_1	3 590,00	756 652,13	9 134 198,42	Nodo_41	3 530,00	754 167,72	9 134 629,55
Nodo_2	3 514,98	755 564,01	9 134 070,64	Nodo_42	3 583,66	755 855,03	9 134 604,49

Nodo_3	3 517,59	755 553,60	9 134 058,18	Nodo_43	3 578,18	755 869,91	9 134 617,35
Nodo_4	3 515,61	755 575,13	9 134 083,97	Nodo_44	3 526,11	755 607,61	9 134 160,96
Nodo_5	3 516,03	755 594,98	9 134 104,60	Nodo_45	3 570,49	755 479,57	9 134 347,60
Nodo_6	3 586,23	756 557,58	9 134 133,91	Nodo_46	3 581,50	755 427,69	9 134 364,63
Nodo_7	3 518,25	755 612,25	9 134 122,35	Nodo_47	3 565,80	755 468,51	9 134 308,11
Nodo_8	3 520,00	755 619,65	9 134 129,95	Nodo_48	3 569,91	755 359,70	9 134 257,58
Nodo_9	3 597,58	756 716,36	9 134 225,51	Nodo_49	3 592,90	755 490,60	9 134 466,52
Nodo_10	3 605,00	756 818,39	9 134 317,55	Nodo_50	3 635,84	755 598,68	9 134 788,30
Nodo_11	3 640,00	756 948,93	9 134 735,56	Nodo_51	3 731,66	755 623,29	9 135 037,58
Nodo_12	3 891,52	757 153,53	9 135 941,47	Nodo_52	3 629,41	756 382,34	9 134 945,23
Nodo_13	3 753,66	755 637,48	9 135 111,83	Nodo_53	3 623,70	756 270,27	9 134 920,70
Nodo_14	3 657,28	754 561,76	9 134 841,87	Nodo_54	3 618,38	756 189,57	9 134 890,54
Nodo_15	3 586,14	755 961,05	9 134 705,04	Nodo_55	3 599,79	756 013,98	9 134 768,78
Nodo_16	3 574,28	755 880,47	9 134 627,16	Nodo_56	3 655,00	757 165,30	9 134 933,41
Nodo_17	3 695,30	754 777,99	9 134 759,28	Nodo_57	3 650,00	757 098,73	9 134 863,54
Nodo_18	3 549,06	754 218,54	9 134 662,56	Nodo_58	3 655,00	757 177,13	9 134 948,50
Nodo_19	3 545,00	755 047,10	9 133 949,16	Nodo_59	3 640,58	756 381,68	9 134 975,70
Nodo_20	3 525,34	754 497,20	9 133 979,37	Nodo_60	3 652,94	757 268,58	9 135 118,51
Nodo_21	3 503,43	755 396,31	9 133 697,27	Nodo_61	3 715,58	755 269,53	9 134 866,58
Nodo_22	3 500,98	755 402,29	9 133 761,07	Nodo_62	3 639,08	755 599,24	9 134 796,34
Nodo_23	3 470,64	754 270,03	9 133 875,04	Nodo_63	3 649,67	757 076,60	9 134 839,74
Nodo_24	3 549,03	755 092,61	9 133 960,22	Nodo_64	3 659,90	754 569,90	9 134 846,96
Nodo_25	3 545,00	755 043,16	9 133 948,31	Nodo_65	3 556,90	756 151,28	9 134 343,21
Nodo_26	3 530,00	755 375,39	9 133 948,77	Nodo_66	3 531,17	756 014,49	9 134 230,94
Nodo_27	3 490,00	755 664,47	9 133 954,62	Nodo_67	3 525,68	756 084,52	9 134 288,66
Nodo_28	3 559,05	756 309,25	9 134 013,62	Nodo_68	3 529,92	756 095,06	9 134 300,94
Nodo_29	3 539,63	754 626,12	9 134 001,61	Nodo_69	3 539,53	756 129,00	9 134 329,23
Nodo_30	3 508,97	755 555,13	9 134 003,75	Nodo_70	3 535,01	756 117,36	9 134 319,62
Nodo_31	3 518,38	755 545,80	9 134 048,50	Nodo_71	3 509,59	756 101,40	9 134 067,81
Nodo_32	3 490,00	755 661,31	9 133 955,87	Nodo_72	3 820,94	757 235,41	9 135 748,67
Nodo_33	3 555,00	755 248,99	9 134 051,05	Nodo_73	3 780,29	757 177,17	9 135 602,21
Nodo_34	3 550,00	755 162,40	9 133 978,74	Nodo_74	3 758,66	757 070,70	9 135 506,48
Nodo_35	3 583,06	755 446,31	9 134 387,63	Nodo_75	3 751,79	757 031,82	9 135 474,16
Nodo_36	3 593,69	755 513,75	9 134 485,99	Nodo_76	3 520,95	755,614,36	9 134 146,39
Nodo_37	3 515,00	754 086,73	9 134 585,29	Nodo_77	3 516,05	755,583,83	9 134 093,13
Nodo_38	3 590,81	755 577,21	9 134 584,69	Nodo_78	3 530,00	755,588,38	9 134 198,18
Nodo_39	3 520,00	754 131,87	9 134 601,28	Nodo_79	3 528,00	755,601,47	9 134 174,20
Nodo_40	3 613,35	755 534,55	9 134 595,79				

En la **Tabla 17**, se muestra las coordenadas geográficas y diámetro de las válvulas existentes en la red de agua potable del Centro Poblado La Florida

Tabla 17. Características de las válvulas de la Red de Agua Potable de la Florida

Válvula	Elevación (m)	X	Y	Diámetro
VP01	3 579,96	755 836,29	9 134 588,29	3/4
VP02	3 505,02	756 082,07	9 134 070,60	3/4
VP03	3 530,29	756 009,08	9 134 226,75	3/4
VP04	3 515,00	754 075,44	9 134 581,20	3/4
VP05	3 651,70	757 270,64	9 135 091,84	3/4
VP06	3 490,00	755 671,01	9 133 952,03	3/4
VP07	3 506,75	755 396,58	9 133 691,51	3/4

VP08	3 470,00	754 267,07	9 133 874,35	3/4
VC01	3 886,60	757 162,07	9 135 933,09	1
VC02	3 755,68	757 075,06	9 135 495,87	3/4
VC03	3 890,75	757 092,69	9 135 918,02	1
VC04	3 754,19	755 651,09	9 135 104,52	1

En la **Tabla 18**, se muestra las coordenadas geográficas y diámetro de las cámaras rompe presión (CRP) tipo 6 y 7 existentes en la red de agua potable del Centro Poblado La Florida

Tabla 18. Características de las CRP de la Red de Agua Potable de la Florida

CRP	X	Y	Z	DIAMETRO (")
CRP7-1	757 216,04	9 135 844,84	3 853,00	1
CRP7-2	757 208,50	9 135 646,22	3 796,00	1
CRP7-3	757 002,51	9 135 449,79	3 741,00	3/4
CRP7-4	756 522,06	9 135 069,30	3 679,24	3/4
CRP7-5	756 350,87	9 134 954,93	3 630,68	3/4
CRP7-6	757 090,68	9 135 457,86	3 742,04	3/4
CRP7-7	757 153,45	9 135 271,67	3 687,86	3/4
CRP7-8	756 957,95	9 134 741,64	3 639,74	3/4
CRP7-9	756 598,03	9 134 151,91	3 586,05	3/4
CRP7-10	756 242,23	9 134 028,78	3 537,47	3/4
CRP7-11	756 515,76	9 134 529,58	3 585,36	3/4
CRP7-12	756 572,08	9 135 536,81	3 850,28	1
CRP7-13	756 121,28	9 135 227,83	3 795,00	1
CRP7-14	755 506,21	9 135 105,04	3 742,18	3/4
CRP7-15	754 783,59	9 134 759,71	3 696,23	3/4
CRP7-16	755 633,77	9 135 093,58	3 752,00	1
CRP7-17	755 612,97	9 134 945,63	3 697,86	1
CRP7-18	755 602,04	9 134 836,91	3 653,07	1
CRP7-19	755 536,14	9 134 609,77	3 612,53	1
CRP7-20	755 452,79	9 134 403,94	3 583,68	1
CRP7-21	755 570,95	9 134 220,51	3 532,24	3/4
CRP7-22	755 361,19	9 133 970,52	3 535,52	3/4
CRP7-23	755 060,38	9 133 951,53	3 547,15	3/4
CRP7-24	754 480,12	9 133 966,67	3 520,27	3/4
CRP7-25	754 534,61	9 134 824,87	3 645,86	3/4
CRP7-26	754 424,88	9 134 768,75	3 596,42	3/4
CRP7-27	754 203,70	9 134 655,45	3 544,14	3/4
CRP6-1	757 525,17	9 136 400,85	3982,00	1
CRP6-2	757 266,01	9 136 211,06	3945,00	1

En la **Tabla 19**, se muestra los resultados obtenidos de demanda, gradiente hidráulico y presión en los nodos de la red de agua potable del Centro Poblado La Florida

Tabla 19. Resultados de la simulación del comportamiento hidráulico en los nodos de la red de agua La Florida.

Nodo	Demanda (L/s)	Grad. Hidráulico (m)	Presión (m H2O)	Nodo	Demanda (L/s)	Grad. Hidráulico (m)	Presión (m H2O)	Nodo	Demanda (L/s)	Grad. Hidráulico (m)	Presión (m H2O)
Nodo_1	0,0000	3 639,77	50	Nodo_56	0,0000	3 687,45	32	Viv_20	0,0224	3 679,73	87
Nodo_2	0,0000	3 533,69	19	Nodo_57	0,0000	3 687,28	37	Viv_21	0,0032	3 632,90	22
Nodo_3	0,0000	3 533,69	16	Nodo_58	0,0000	3 687,48	32	Viv_22	0,0160	3 632,85	53
Nodo_4	0,0000	3 533,70	18	Nodo_59	0,0000	3 679,75	39	Viv_23	0,0192	3 632,78	50
Nodo_5	0,0000	3 533,71	18	Nodo_60	0,0000	3 687,96	35	Viv_24	0,0128	3 632,75	56
Nodo_6	0,0000	3 586,08	0	Nodo_61	0,0000	3 743,68	28	Viv_25	0,0192	3 632,73	122
Nodo_7	0,0000	3 533,74	15	Nodo_62	0,0000	3 652,25	13	Viv_26	0,0096	3 632,76	64
Nodo_8	0,0000	3 533,75	14	Nodo_63	0,0000	3 687,23	37	Viv_27	0,0160	3 533,69	22
Nodo_9	0,0000	3 639,78	42	Nodo_64	0,0000	3 695,62	36	Viv_28	0,0096	3 632,75	45
Nodo_10	0,0000	3 639,82	35	Nodo_65	0,0000	3 584,87	28	Viv_29	0,0192	3 749,12	17
Nodo_11	0,0000	3 639,99	0	Nodo_66	0,0000	3 584,86	54	Viv_30	0,0096	3 652,24	26
Nodo_12	0,0000	3 898,44	7	Nodo_67	0,0000	3 584,86	59	Viv_31	0,0160	3 652,16	21
Nodo_13	0,0000	3 784,31	31	Nodo_68	0,0000	3 584,86	55	Viv_32	0,0064	3 611,81	52
Nodo_14	0,0000	3 695,62	38	Nodo_69	0,0000	3 584,87	45	Viv_33	0,0128	3 610,77	45
Nodo_15	0,0000	3 632,77	47	Nodo_70	0,0000	3 584,87	50	Viv_34	0,0128	3 610,51	40
Nodo_16	0,0000	3 632,75	58	Nodo_71	0,0000	3 538,74	29	Viv_35	0,0319	3 533,89	4
Nodo_17	0,0000	3 695,71	0	Nodo_72	0,0000	3 851,18	30	Viv_36	0,0319	3 533,82	6
Nodo_18	0,0000	3 597,07	48	Nodo_73	0,0000	3 795,95	16	Viv_37	0,0192	3 533,79	12
Nodo_19	0,0000	3 545,00	0	Nodo_74	0,0000	3 795,13	36	Viv_38	0,0160	3 533,77	14
Nodo_20	0,0000	3 544,95	20	Nodo_75	0,0000	3 795,08	43	Viv_39	0,0096	3 611,81	43
Nodo_21	0,0000	3 534,99	32	Nodo_76	0,0000	3 533,77	13	Viv_40	0,0128	3 533,75	17
Nodo_22	0,0000	3 535,00	34	Nodo_77	0,0000	3 533,70	18	Viv_41	0,0128	3 533,73	19
Nodo_23	0,0000	3 520,47	50	Nodo_78	0,0000	3 533,90	4	Viv_42	0,0064	3 584,76	15
Nodo_24	0,0000	3 584,52	35	Nodo_79	0,0000	3 533,83	6	Viv_43	0,0064	3 584,52	35
Nodo_25	0,0000	3 545,00	0	VC01	0,0000	3 898,36	12	Viv_44	0,0319	3 533,70	21
Nodo_26	0,0000	3 535,00	5	VC02	0,0000	3 795,10	39	Viv_45	0,0096	3 533,70	23
Nodo_27	0,0000	3 533,67	44	VC03	0,0000	3 897,34	7	Viv_46	0,0128	3 533,71	20
Nodo_28	0,0000	3 586,06	27	VC04	0,0000	3 784,57	30	Viv_47	0,0064	3 533,69	24
Nodo_29	0,0000	3 544,95	5	VP01	0,0000	3 632,75	53	Viv_48	0,0096	3 533,68	21
Nodo_30	0,0000	3 533,68	25	VP02	0,0000	3 538,74	34	Viv_49	0,0128	3 533,68	24

Nodo_31	0,0000	3 533,68	15	VP03	0,0000	3 584,86	54	Viv_50	0,0128	3 533,67	44
Nodo_32	0,0000	3 533,67	44	VP04	0,0000	3 543,04	28	Viv_51	0,0128	3 584,89	20
Nodo_33	0,0000	3 584,60	30	VP05	0,0000	3 687,89	36	Viv_52	0,0128	3 584,89	17
Nodo_34	0,0000	3 584,55	34	VP06	0,0000	3 533,67	44	Viv_53	0,0064	3 584,79	20
Nodo_35	0,0000	3 584,94	2	VP07	0,0000	3 534,99	28	Viv_54	0,0160	3 535,00	4
Nodo_36	0,0000	3 610,78	17	VP08	0,0000	3 520,47	50	Viv_55	0,0032	3 535,00	38
Nodo_37	0,0000	3 543,04	28	Viv_1	0,0160	3 851,15	49	Viv_56	0,0096	3 534,99	30
Nodo_38	0,0000	3 611,81	21	Viv_2	0,0064	3 795,95	31	Viv_57	0,0160	3 584,54	37
Nodo_39	0,0000	3 543,04	23	Viv_3	0,0192	3 687,48	32	Viv_58	0,0096	3 544,99	11
Nodo_40	0,0000	3 611,81	-2	Viv_4	0,0128	3 687,28	37	Viv_59	0,0160	3 544,98	35
Nodo_41	0,0000	3 543,04	13	Viv_5	0,0192	3 687,23	42	Viv_60	0,0128	3 544,95	33
Nodo_42	0,0000	3 632,75	49	Viv_6	0,0096	3 639,82	35	Viv_61	0,0128	3 543,04	25
Nodo_43	0,0000	3 632,75	54	Viv_7	0,0096	3 533,67	42	Viv_62	0,0128	3 520,47	50
Nodo_44	0,0000	3 533,80	8	Viv_8	0,0096	3 639,78	35	Viv_63	0,0096	3 544,95	13
Nodo_45	0,0000	3 584,76	14	Viv_9	0,0064	3 639,77	74	Viv_64	0,0128	3 743,68	35
Nodo_46	0,0000	3 584,90	3	Viv_10	0,0192	3 586,08	-4	Viv_65	0,0160	3 695,68	56
Nodo_47	0,0000	3 584,89	19	Viv_11	0,0128	3 586,06	26	Viv_66	0,0160	3 695,62	36
Nodo_48	0,0000	3 584,79	15	Viv_12	0,0160	3 538,74	29	Viv_67	0,0064	3 695,62	40
Nodo_49	0,0000	3 610,51	18	Viv_13	0,0096	3 584,87	25	Viv_68	0,0096	3 597,06	58
Nodo_50	0,0000	3 652,16	16	Viv_14	0,0192	3 584,86	49	Viv_69	0,0128	3 543,03	28
Nodo_51	0,0000	3 749,12	17	Viv_15	0,0160	3 584,86	51	Viv_70	0,0160	3 543,03	28
Nodo_52	0,0000	3 679,74	50	Viv_16	0,0064	3 584,86	58	Viv_71	0,0096	3 584,86	59
Nodo_53	0,0000	3 632,90	9	Viv_17	0,0064	3 584,86	55	Viv_72	0,0096	3 687,45	32
Nodo_54	0,0000	3,632,85	14	Viv_18	0,0064	3 795,08	46				
Nodo_55	0,0000	3,632,78	33	Viv_19	0,0064	3 679,74	70				

En la **Tabla 20**, se muestra los resultados obtenidos de la velocidad (m/s) y caudal (L/s) en las tuberías que conforman la red de agua potable del Centro Poblado La Florida

Tabla 20. Resultados de la simulación del comportamiento hidráulico en las tuberías que conforman la red de agua La Florida

Tubería	Velocidad (m/s)	Caudal (L/s)	Tubería	Velocidad (m/s)	Caudal (L/s)	Tubería	Velocidad (m/s)	Caudal (L/s)	Tubería	Velocidad (m/s)	Caudal (L/s)
Tub_1	0,056	0,0479	Tub_49	0,015	0,0128	Tub_97	0,235	0,2012	Tub_145	0,029	0,0160
Tub_2	0,071	0,0607	Tub_50	0,023	0,0128	Tub_98	0,236	0,2018	Tub_146	0,389	0,3327
Tub_3	0,078	0,0671	Tub_51	0,027	0,0230	Tub_99	0,139	0,1188	Tub_147	0,407	0,3481
Tub_4	0,017	0,0096	Tub_52	0,017	0,0096	Tub_100	0,235	0,2011	Tub_148	0,684	0,5850

Tub_5	0,127	0,1086	Tub_53	0,023	0,0128	Tub_101	0,105	0,0894	Tub_149	0,012	0,0064
Tub_6	0,023	0,0128	Tub_54	0,017	0,0096	Tub_102	0,052	0,0287	Tub_150	0,146	0,1247
Tub_7	0,035	0,0192	Tub_55	0,029	0,0160	Tub_103	0,035	0,0192	Tub_151	0,138	0,1183
Tub_8	0,142	0,1214	Tub_56	0,026	0,0224	Tub_104	0,235	0,2011	Tub_152	0,213	0,1820
Tub_9	0,023	0,0128	Tub_57	0,097	0,0830	Tub_105	0,235	0,2011	Tub_153	0,012	0,0064
Tub_10	0,157	0,1342	Tub_58	0,034	0,0294	Tub_106	0,105	0,0894	Tub_154	0,164	0,1405
Tub_11	0,023	0,0128	Tub_59	0,464	0,3966	Tub_107	0,060	0,0511	Tub_155	0,513	0,4387
Tub_12	0,029	0,0160	Tub_60	0,023	0,0128	Tub_108	0,017	0,0096	Tub_156	0,023	0,0128
Tub_13	0,035	0,0192	Tub_61	0,000	0,0000	Tub_109	0,029	0,0160	Tub_157	0,037	0,0319
Tub_14	0,017	0,0096	Tub_62	0,012	0,0064	Tub_110	0,165	0,1411	Tub_158	0,017	0,0096
Tub_15	0,063	0,0542	Tub_63	0,017	0,0096	Tub_111	0,035	0,0192	Tub_159	0,187	0,1596
Tub_16	0,012	0,0064	Tub_64	0,019	0,0160	Tub_112	0,067	0,0575	Tub_160	0,079	0,0677
Tub_17	0,086	0,0734	Tub_65	0,029	0,0160	Tub_113	0,012	0,0064	Tub_161	0,045	0,0383
Tub_18	0,685	0,5862	Tub_66	0,494	0,4227	Tub_114	0,086	0,0734	Tub_162	0,019	0,0160
Tub_19	0,685	0,5856	Tub_67	0,034	0,0287	Tub_115	0,029	0,0160	Tub_163	0,000	0,0000
Tub_20	0,684	0,5850	Tub_68	0,000	0,0000	Tub_116	0,023	0,0128	Tub_164	0,019	0,0160
Tub_21	0,119	0,1022	Tub_69	0,023	0,0128	Tub_117	0,119	0,1022	Tub_165	0,056	0,0479
Tub_22	0,060	0,0511	Tub_70	0,023	0,0128	Tub_118	0,078	0,0671	Tub_166	0,075	0,0638
Tub_23	0,049	0,0415	Tub_71	0,015	0,0128	Tub_119	0,000	0,0000	Tub_167	0,564	0,4828
Tub_24	0,029	0,0160	Tub_72	0,035	0,0192	Tub_120	0,012	0,0064	Tub_168	0,564	0,4822
Tub_25	0,105	0,0894	Tub_73	0,017	0,0096	Tub_121	0,012	0,0064	Tub_169	0,541	0,4630
Tub_26	0,060	0,0511	Tub_74	0,017	0,0096	Tub_122	0,017	0,0096	Tub_170	0,530	0,4535
Tub_27	0,049	0,0415	Tub_75	0,023	0,0128	Tub_123	0,023	0,0128	Tub_171	0,029	0,0160
Tub_28	0,017	0,0096	Tub_76	0,049	0,0415	Tub_124	0,007	0,0064	Tub_172	0,479	0,4099
Tub_29	0,060	0,0511	Tub_77	0,250	0,2140	Tub_125	0,012	0,0064	Tub_173	0,169	0,1443
Tub_30	0,072	0,0613	Tub_78	0,012	0,0064	Tub_126	0,035	0,0192	Tub_174	0,139	0,1188
Tub_31	0,017	0,0096	Tub_79	0,046	0,0255	Tub_127	0,017	0,0096	Tub_175	0,034	0,0287
Tub_32	0,016	0,0134	Tub_80	0,131	0,1124	Tub_128	0,029	0,0160	Tub_176	0,023	0,0128
Tub_33	0,017	0,0096	Tub_81	0,295	0,2523	Tub_129	0,026	0,0224	Tub_177	0,015	0,0128
Tub_34	0,000	0,0000	Tub_82	0,023	0,0128	Tub_130	0,067	0,0575	Tub_178	0,172	0,1469
Tub_35	0,006	0,0032	Tub_83	0,464	0,3972	Tub_131	0,017	0,0096	Tub_179	0,190	0,1629
Tub_36	0,011	0,0096	Tub_84	0,512	0,4375	Tub_132	0,287	0,2459	Tub_180	0,235	0,2012
Tub_37	0,000	0,0000	Tub_85	0,542	0,4636	Tub_133	0,034	0,0287	Tub_181	0,058	0,0319
Tub_38	0,023	0,0128	Tub_86	0,541	0,4631	Tub_134	0,015	0,0128	Tub_182	0,023	0,0128
Tub_39	0,017	0,0096	Tub_87	0,012	0,0064	Tub_135	0,012	0,0064	Tub_183	0,029	0,0160
Tub_40	0,078	0,0671	Tub_88	0,041	0,0224	Tub_136	0,052	0,0447	Tub_184	0,035	0,0192
Tub_41	0,012	0,0064	Tub_89	0,006	0,0032	Tub_137	0,029	0,0160	Tub_185	0,090	0,0767
Tub_42	0,029	0,0160	Tub_90	0,101	0,0862	Tub_138	0,019	0,0160	Tub_186	0,041	0,0352
Tub_43	0,042	0,0357	Tub_91	0,082	0,0702	Tub_139	0,407	0,3481	Tub_187	0,058	0,0319

Tub_44	0,029	0,0160	Tub_92	0,029	0,0160	Tub_140	0,408	0,3487	Tub_188	0,058	0,0319
Tub_45	0,060	0,0517	Tub_93	0,202	0,1724	Tub_141	1,092	0,9342	Tub_189	0,288	0,2459
Tub_46	0,000	0,0000	Tub_94	0,035	0,0192	Tub_142	0,388	0,3322	Tub_190	0,213	0,1820
Tub_47	0,023	0,0128	Tub_95	0,105	0,0900	Tub_143	0,685	0,5862			
Tub_48	0,071	0,0607	Tub_96	0,138	0,1181	Tub_144	0,381	0,3258			

Anexo D. Panel fotográfico



Figura 21. Toma de coordenadas en la captación.



Figura 22. Verificación de las coordenadas geográficas de los componentes



Figura 23. Reconocimiento de la red de distribución de agua de La Florida



Figura 24. Ubicación de las CRP del sistema de agua potable de La Florida.



Figura 25. Reconocimiento del reservorio y caseta de cloración



Figura 26. Entrevista con poblador para la determinación de los perfiles de consumo.



Figura 27. Entrevista a la Vivienda 28 para conocer el consumo de agua



Figura 28. Entrevista a la familia de la vivienda 71 para determinar su consumo de agua



Figura 29. Toma de muestra para medición del cloro residual.



Figura 30. Coloración de la celda por reacción del reactivo con el cloro.



Figura 31. Resultados de la medición de cloro residual



Figura 32. Toma de muestra de la vivienda 53 para cloro residual.



Figura 33. Medición de cloro residual de la vivienda 71



Figura 34. Reunión con la población para dar de conocimiento la investigación.



Figura 35. Población de La Florida asistente a la reunión.



Figura 36. Miembros de la actual JASS de La Florida