Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

Simulación de cloro residual mediante el software Watercad en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021

Deyvis Tuero Espinal
Katherin Marisol Huamani Cahuana

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital

Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme a gozar de salud y bienestar el cual permitió que logremos nuestras metas.

A la Universidad; por permitirme desarrollar en el aspecto profesional y humanitario.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y a los docentes quienes me acogieron e impartieron sus conocimientos brindados el cual contribuyo en mi formación académica profesional

Agradezco a mi familia por brindarme su apoyo durante la realización de este estudio, así mismo estoy muy agradecida con mis docentes de aula, que me brindaron una buena formación académica durante mi vida universitaria, y agradezco a dios por permitirme llevar una vida saludable.

A mis asesores quienes dedicaron parte de su tiempo para guiarme, motivarme y ver concluido el presente estudio.

DEDICATORIA

A Dios gracias por permitir el logro de esta etapa. A mis padres **Rafael Tuero García** y **Juana Torres Espinal**, quienes a lo largo de mi vida me han apoyado incondicionalmente. A mis hermanas **Daniela**, **Madeley** y en especial a **Katherine**, quienes siempre creyeron en mí y me impulsaron a seguir adelante.

DEYVIS

El presente estudio está dedicado a mi linda madre, quien me ha apoyado incondicionalmente en todos los aspectos de mi vida, y más aún durante mi vida universitaria.

KATHERIN MARISOL

ÍNDICE

Resumen xiii

Abstract xiv

Introducción xv

CAPÍTULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1 Planteamiento y formulación del problema 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.1.2 Formulación del problema 2

1.2 Objetivos 2

1.2.1 Objetivo general 2

1.2.2 Objetivos específicos 3

1.3 Justificación 3

1.4 Hipótesis y descripción de las variables 4

1.4.1 Hipótesis de investigación (H_1) 4

1.4.2 Hipótesis nula (H_0) 4

1.4.3 Hipótesis especificas 4

CAPÍTULO II 5

MARCO TEÓRICO 5

2.1 Antecedentes de la investigación 5

2.1.1 Antecedentes internacionales 5

2.1.2 Antecedentes nacionales 7

2.1.3 Antecedentes locales 11

2.2 Marco legal 11

2.2.1 Reglamentos 12

2.3 Marco conceptual 12

2.4 Bases teóricas 13
2.4.1 Sistema de abastecimiento de agua en el ámbito rural 13
2.4.2 Calidad del agua para consumo humano 17
2.4.3 Reglamento de la calidad del agua para consumo humano 19
2.4.4 Tratamiento del agua por cloración 19
2.4.5 Simulación del cloro residual con WATERCAD 24
2.4.6 Teoría estadística para el análisis de datos 29
2.5 Definición de términos 33
2.6 Modelo teórico conceptual 36
CAPÍTULO III 38
METODOLOGÍA 38
3.1 Método y alcance de la investigación 38
3.1.1 Método general o teórico de la investigación 38
3.1.2 Método especifico de la investigación 39
3.2 Variable de estudio 41
3.3 Cobertura del estudio 42
3.3.1 Universo 42
3.4 Población y muestra 42
3.4.1 Población 42
3.4.2 Muestra 43
3.4.3 Muestreo 43
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 44
3.5.1 Técnicas de recolección de datos 44
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos. 46
3.6 Procedimiento de investigación 46
CAPITULO IV 49

RESULTADOS Y DISCUSIONES 49
4.1 Organización, presentación y análisis de resultados 49
4.1.1 Estado situacional del sistema de abastecimiento y de la calidad del agua 49
4.1.2 Topografía y configuración del sistema de abastecimiento de agua 57
4.1.3 Modelamiento y simulación hidráulica de la red de agua 61
4.1.4 Simulación del comportamiento del cloro residual 66
4.2 Contrastación de hipótesis 68
4.2.1 Contrastación de hipótesis general 68
4.2.2 Contrastación de hipótesis especifica 1 77
4.2.3 Contrastación de hipótesis especifica 2 80
4.2.4 Contrastación de hipótesis especifica 3 83
4.2.5 Cronograma de actividades 87
4.3 Discusión de resultados 87
CONCLUSIONES 89
RECOMENDACIONES 91
BIBLIOGRAFÍA 92
MATRIZ DE CONSISTENCIA 97
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 98
ANEXOS 99

Glosario de abreviaturas

ANA	: Autoridad Nacional del Agua
CEPIS	: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CNA	: Comisión Nacional del Agua
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
D.S.	: Decreto Supremo
D.P.D.	: Dietil-p-fenilen-diamina
EPS	: Empresa Prestadora de Servicios
OMS	: Organización Mundial de la Salud
PVC	: Policloruro de Vinilo
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
THM´S	: Trihalometanos

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de desinfección del agua 19

Tabla 2. Diferentes métodos de desinfección del agua usando el cloro 21

Tabla 3. Criterios para realizar la prueba de hipótesis 31

Tabla 4. Criterios para contrastar la idoneidad del modelo 33

Tabla 5. Definición operativa de la variable de estudio 41

Tabla 6. Factores del nivel de confianza, para el cálculo del tamaño de la muestra. 51

Tabla 7. Periodo de diseño para estructuras hidráulicas 62

Tabla 8. Índices de crecimiento población para los departamentos del Perú 62

Tabla 9. Dotaciones de agua para consumo domestico 63

Tabla 10. Diámetros de tuberías para redes de agua potable 65

Tabla 11. Valores asumidos de Kb y Kw para la obtención del cloro residual 69

Tabla 12. Coeficientes de la ecuación 72

Tabla 13. Prueba de hipótesis para las variables significativas 73

Tabla 14. Análisis de la varianza 73

Tabla 15. Pruebas de normalidad de residuos 74

Tabla 16. Resumen del modelo 75

Tabla 17. Estadísticos de grupo para el cloro residual registrado en la zona de estudio 79

Tabla 18. Prueba para una muestra del cloro residual registrado en la zona de estudio 79

Tabla 19. Valores asumidos de Kb y cloro residual obtenido en el nodo de la red 80

Tabla 20. Estadísticos de grupo para Kb y el cloro residual resultante mediante WATERCAD 82

Tabla 21. Prueba para correlación de grupos de los valores de Kb y los valores del cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD 83

Tabla 22. Valores típicos asumidos de Kw y cloro residual obtenido en el nodo de la red 84

Tabla 23. Estadísticos de grupo para Kw y el cloro residual resultante mediante WATERCAD 85

Tabla 24. Prueba para correlación de grupos de los valores de Kw y los valores del cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD.....86

Tabla 25. Cronograma de actividades.....87

Índice de gráficos

Gráfico 1. Modelo teórico - conceptual de la investigación 37

Gráfico 2. Cantidad de habitantes registrados mediante encuesta 53

Gráfico 3. Fuente de abastecimiento de agua de cada vivienda 53

Gráfico 4. Cada cuanto tiempo se abastece de agua cada vivienda 54

Gráfico 5. Cómo considera la calidad del agua que recibe.....54

Gráfico 6. Le da algún tratamiento al agua antes de ser consumida.....55

Gráfico 7. Dónde almacena el agua 55

Gráfico 8. Dónde ubica el depósito de agua 56

Gráfico 9. Viviendas que le dan mantenimiento a sus depósitos de agua 56

Gráfico 10. Con que frecuencia les da mantenimiento a sus depósitos de agua 57

Gráfico 11. Diagrama de dispersión 3D (Fuente: Datos de la base SPSS).....70

Gráfico 12. Muestra el diagrama de dispersión matricial, donde se visualiza el comportamiento de cada variable explicativa respecto de la variable dependiente (Fuente: Datos de la base SPSS) 71

Gráfico 13. Muestra el grado de correlación (correlación directa) que existe entre los valores de Kb y el cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD, grafico tomado de la base de datos del software SPSS (Fuente: Base de datos SPSS) 82

Gráfico 14. Muestra el grado de correlación (correlación directa) que existe entre los valores de Kw y el cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD, grafico tomado de la base de datos del software SPSS.....86

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de un sistema convencional de agua por gravedad en el ámbito rural, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 52. (24).....13

Figura 2. Tubos PVC para agua potable a presión, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 37. (24) 14

Figura 3. Accesorios para tubería en redes de agua potable, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 37. (24) 14

Figura 4. Válvula compuerta para redes de agua potable, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 39. (24) 15

Figura 5. Captación de agua en ladera, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 51 (24) 15

Figura 6. Tanque de distribución, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 52 (24) 16

Figura 7. Toma domiciliaria, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 55 (24) 16

Figura 8. Cámara rompedora de presión, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por Comisión Nacional del Agua, 2018, p. 53. (24) 17

Figura 9. Curva típica de la reacción del cloro al añadirlo progresivamente en el agua, tomado de “Decaimiento del cloro por reacción con el agua en redes de distribución”, por ALCOCER-YAMANAKA, Víctor H., TZATCHKOV, Velitchko y ARREGUÍN CORTÉS, Felipe I., 2004, p. 5. (8).....23

Figura 10. Representación de una red de agua en WATERCAD, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 30 (24) 24

Figura 11. Nodo de conexión de tuberías con tres entradas y tres extracciones donde se produce la mezcla, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 113 (24) 26

Figura 12. Transporte por advección de un soluto en una tubería, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 114 (24) 27

Figura 13. Zona de reacción en el seno del fluido y reacción en la pared de la tubería, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 116 (24)..... 28

Figura 14. Zona de estudio de la comunidad campesina de Sacsamarca, imagen del software Google Earth, 2021 (Fuente: software Google Earth, 2021). 39

Figura 15. Encuesta realizada en la comunidad campesina de Sacsamarca. 50

Figura 16. Vista panorámica de las viviendas encuestadas 52

Figura 17. Modelo digital de elevaciones para la comunidad campesina de Sacsamarca, la coloración indica la altitud del relieve del terreno 58

Figura 18. Curvas de nivel para la zona de estudio 59

Figura 19. Lotes de viviendas identificados 60

Figura 20. Esquematización de la red de distribución de agua potable 61

Figura 21. Coloreado de los valores de presiones obtenidas en los nodos de la red 66

Figura 22. Coloreado de los valores de los diámetros obtenidos para las tuberías..... 66

Figura 23. mapeo de cloro residual para un salto de tiempo acumulado de 4 horas 68

Resumen

La presente investigación tuvo el propósito determinar la influencia de los coeficientes de decaimiento del cloro Kb y Kw sobre los valores finales del cloro residual (cloro residual calculado en los nodos de la red de agua potable). Este procedimiento se ha realizado haciendo uso del software WaterCAD (simulaciones para periodos extendidos de 24 horas). Los valores de Kb y Kw son variables, puesto que estas dependen del tipo de fluido y del tipo de material del conducto, comúnmente en la práctica profesional se asumen valores promedio de Kb y Kw. Se ha empleado el método científico, en un tipo de investigación aplicada, de nivel explicativo. Su diseño ha sido transversal descriptivo-correlacional. Determinar la mayor influencia en la obtención del cloro residual, y responder esta interrogante, se realizó un análisis multivariante en el que se observó que Kb ejerce una mayor influencia en la obtención del valor final del cloro residual. Se concluye, entonces, que los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen positivamente en el comportamiento del cloro residual en la red de agua potable en un nivel de confianza de 95 %. Se debe tener presente que, para realizar una adecuada simulación del cloro residual, es necesario que la red cumpla con los parámetros de la norma OS.050 y el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ya que de no cumplirse con dichos parámetros se puede incurrir en un error al momento de simular y obtener los valores del cloro residual.

Palabras clave: Agua potable, cloro residual, WaterCAD, red de distribución

Abstract

The present investigation is oriented to carry out an analysis of the influence that the chlorine decay coefficients Kb and Kw have on the final values of residual chlorine (residual chlorine calculated in the nodes of the drinking water network), this procedure has been carried out using the WaterCAD software (simulations for extended periods of 24 hours). The values of Kb and Kw are variable, since they depend on the type of fluid and the type of duct material, commonly in professional practice average values of Kb and Kw are assumed, however, it is not specified which of the coefficients has a greater influence on obtaining residual chlorine, to answer this question a multivariate analysis was carried out in which it was observed that Kb exerts a greater influence on obtaining the final value of residual chlorine.

It must be borne in mind that, in order to carry out an adequate simulation of residual chlorine, it is necessary for the network to comply with the parameters of the OS.050 standard and the regulation of the quality of water for human consumption, since if these parameters are not met an error can be incurred when simulating and obtaining the residual chlorine values.

Finally, all the results obtained have been annexed for a better understanding of it.

Keywords: Waste chlorine, drinking water, WaterCAD, distribution network

Introducción

Actualmente la implementación de infraestructuras de saneamiento básico en las comunidades rurales es poco eficaz, muchas veces debido a la falta inversión por parte de las autoridades del gobierno de turno y en ocasiones por una inadecuada organización por parte de los pobladores pertenecientes a la comunidad. Las comunidades que no cuentan con adecuados sistemas de agua potable se ven directamente afectados sobre su salud y la calidad de vida que llevan.

Si bien, en aquellas comunidades que cuentan con un sistema de agua potable, muchas veces no existe un monitoreo de la calidad del agua que consume el poblador, pues debe tenerse presente que los cuerpos de agua se ven afectados por sustancias químicas, fisicoquímicas y biologías, lo que disminuye considerablemente la calidad del agua y trae como consecuencia diversas enfermedades en el poblador.

Actualmente al análisis y monitoreo de la calidad del agua para consumo humano es de gran importancia en nuestra sociedad. Es así que, al realizar una revisión de la literatura científica concerniente al tema, se puede encontrar muchas investigaciones que detallan diversas técnicas para el tratamiento del agua, así mismo existen diversos modelos matemáticos que permiten conceptualmente determinar cómo será el comportamiento de determinados agentes desinfectantes dentro un cuerpo de agua.

Estos modelos matemáticos han sido incorporados en el algoritmo de diversos softwares, y permiten al profesional capacitado realizar simulaciones eficientes respecto del comportamiento de los agentes desinfectantes en los sistemas de distribución de agua para consumo humano. Sin embargo, se tiene que considerar que las simulaciones de agentes desinfectantes requieren de conocimientos teóricos previos, y también involucra

cierto esfuerzo computacional cuando se trata de esquemas complejos de redes de abastecimiento de agua.

El presente trabajo se estructuró, de forma general, en los siguientes capítulos: El capítulo I aborda el planteamiento del problema; el capítulo II, los fundamentos teóricos; el capítulo III, el planteamiento metodológico; el capítulo IV, la organización, presentación y análisis de resultados; de la misma forma se termina presentando las discusiones, conclusiones, recomendaciones, bibliografía, anexos y por último el panel fotográfico.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Actualmente no es fácil abordar los distintos asuntos relacionados con la calidad del agua en las diversas regiones de Latinoamérica. Muchos gobiernos han realizado diversos esfuerzos para tratar de dotar eficientemente de los servicios de agua y saneamiento en sus países, y con mayor prioridad en las comunidades rurales; sin embargo, a pesar de los esfuerzos la problemática aun es persistente (1).

La contaminación del agua mayormente viene a darse por la alteración de aguas residuales, relaves mineros, residuos, químicos que desembocan sobre los cuerpos de agua lenticos o loticos, es por ello que en la actualidad existen un conjunto de técnicas y métodos de desinfección de agua con el fin de que sea apto para consumo de la población, pero se debe de tener en consideración que dichos métodos y técnicas de desinfección del agua trae consigo la inversión de un alto costo económico, de tal forma se debe de evitar contaminar los recursos hídricos con la finalidad de preservar el agua desde la fuente inicial como son ojos de agua, manantiales, cabeceras de cuenca, etc. (2).

Por ello existen un conjunto de normas, directivas y programas nacionales los cuales tienen en consideración la situación sanitaria, geográfica y socioeconómica. La calidad puede indicar deficiencias en la infraestructura u operación del sistema, lo que aumenta el riesgo a la salud de los consumidores. que pueda poner en riesgo la calidad del agua destinada al consumo humano (3).

De igual forma en el país existen reglamentos, decretos supremos que regularizan la calidad de agua potable para consumo humano entre estos tenemos el “D.S. N° 031-2010-SA” donde indica que “El agua debe de estar libre de microorganismos entre Protozoarios, bacterias, parásitos, helmintos, virus, etc.

Es por tanto que las empresas proveedoras de agua están obligadas a asegurar estos límites en la red, para lo cual debe tenerse presente que, en cualquier punto de la red de agua potable, el cloro residual debe tener un valor no menor a 0,5 mgL^{-1} (4).

Ante este panorama es importante observar el comportamiento del cloro dentro de la red de distribución, a fin de poder cumplir con los estándares de la norma vigente. Por todo lo antes mencionado se plantea los siguientes problemas.

1.1.2 Formulación del problema

En el anterior ítem se ha realizado una descripción sobre la importancia de la calidad del agua para consumo humano y sobre el valor numérico limite que debe cumplir el cloro residual en cada nodo de la red de agua potable según al "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud"; bajo dicha consideración se ha planteado el problema general y los problemas específicos:

1.1.2.1 Problema general

¿Cuál es la influencia de los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ✓ ¿Los valores del cloro residual registrados in situ son menor a 0,5 mg/L en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021?
- ✓ ¿Cómo influye el coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb) en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021?
- ✓ ¿Cómo influye el coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw) en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021?

1.2 Objetivos

Ya realizado el planteamiento del problema de investigación, se ha fijado los siguientes objetivos:

1.2.1 Objetivo general

Determinar la influencia de los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar si los valores del cloro residual registrado in situ es menor a 0,5 mg/L en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.
- ✓ Determinar la influencia del coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb) en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.
- ✓ Determinar la influencia del coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw) en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

1.3 Justificación

- ✓ **Justificación teórica:** Es escasa la teoría en español relacionada a la simulación de la calidad del agua en redes de distribución de agua potable; así mismo, no se tiene muy claro la definición del rango de los valores de Kb y Kw para los distintos tipos de fluidos y materiales que están presente en la redes de distribución de agua potable, y como estos coeficientes influyen en los valores finales del cloro residual, bajo este contexto la presente investigación intentando realizar una síntesis de la teoría relacionada a la simulación y análisis de la calidad del agua en redes de distribución.
- ✓ **Justificación practica:** En la práctica profesional es poco común realizar simulaciones del cloro residual en las redes de distribución de agua potable, y cuando se realizan no se le presta la atención adecuada a los coeficientes de decaimiento del cloro (Kb y Kw), pues en muchos de los casos se suelen asumir valores promedios para dichos coeficientes, sin percatarse de la influencia que estos puedan ejercer sobre los valores finales obtenidos del cloro residual en los nodos de la red, es por tal razón que en esta investigación se analiza cuál de los coeficientes (Kb o Kw) ejerce mayor influencia sobre el valor final del cloro residual calculado en los nodos de la red.
- ✓ **Justificación metodológica:** La metodología presentada en esta investigación es más profunda desde una perspectiva estadística, puesto que en las investigaciones relacionadas al tema, generalmente se pretende demostrar si el cloro residual registrado en campo (piletas) cumplen con las normativas que

restringen los valores mínimos, pues el objetivo principal de dichas investigaciones es hallar la concentración optima de cloro que se deba verter en el reservorio y que permita obtener valores del cloro residual en los nodos de la red que cumplan con las restricciones de la norma, en dichas investigaciones solo se hacen uso de procedimientos estadísticos univariados y bivariados, mientras que en la presente investigación se analiza la influencia simultanea de Kb y Kw sobre los valores finales del cloro residual, por lo que se hace uso de procedimientos estadísticos bivariados y multivariados.

1.4 Hipótesis y descripción de las variables

1.4.1 Hipótesis de investigación (H_1)

Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

1.4.2 Hipótesis nula (H_0)

Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro no influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

1.4.3 Hipótesis especificas

- ✓ Los valores del cloro residual registrado in situ es menor a 0.5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.
- ✓ El coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), influye significativamente en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.
- ✓ El coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), afecta considerablemente en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

La investigación elaborada por Guanuchi y Ordoñez (5) aborda la calibración del cloro residual libre en una red de distribución de la ciudad de Azogues, de la provincia de Cañar, del país de Ecuador. Para su estudio, el investigador realiza mediciones del caudal, presión del agua, y concentraciones del cloro residual libre en los nodos de la red, los datos recogidos son monitoreados durante 3 meses. Para realizar la calibración se usa el software EPANET, pues inicialmente se modeló la red para caudales y presiones establecidas según la norma ecuatoriana NTE INEN; luego se procede a establecer valores del coeficiente de reacción en las paredes de la tubería (Kw), realizada la simulación se procede a comparar los valores del cloro residual libre en los nodos de la red con los valores obtenidos en campo. El estudio concluye:

- ✓ La dosificación del cloro (1,2 mg/L) que se realiza en la planta potabilizadora, si garantiza la presencia de cloro residual libre en todos los nodos de la red.
- ✓ Para la obtención del coeficiente de decaimiento en el seno del agua (Kb = 3,71 d-1) se aplica en método integral, por lo que se usa los datos del cloro residual libre registrados durante los 3 meses de monitoreo.

Para el coeficiente de reacción en las paredes de la tubería se asume un valor de Kw = 0,02 m/d; este valor se encuentra dentro del rango sugerido por la bibliografía (manual del programa EPANET).

En la investigación revisada (6), el autor se propuso realizar un modelamiento hidráulico y modelamiento del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable del municipio de Alcantarilla del país de España, para obtener los datos topográficos uso el software QGis (QuantumGis), mientras que para realizar el modelamiento uso el software EPANET. El investigador asume los valores de los coeficientes Kb (coeficiente de reacción en el seno del fluido) y Kw (coeficiente de reacción en la pared de la tubería) según a la bibliografía existente; de tal manera que se pueda observar el comportamiento del cloro en toda la red de agua potable. Los valores finales del cloro residual en los nodos de la red son sometidos a la normativa española. El estudio concluyó:

- ✓ Inicialmente se tiene en cuenta la dosificación del cloro al inicio de la red, para

realizar la simulación del cloro residual libre se han ajustado los valores de Kb y Kw, de tal manera que los valores del cloro residual libre en los nodos de la red estén acorde a la norma española.

En la investigación elaborada (7) realizó la investigación de la concentración de cloro residual en el tanque de almacenamiento de la red de distribución y tanques en donde en dicha investigación se realizó con el objetivo de realizar el seguimiento a la concentración de cloro residual en tanque de almacenamiento, red de distribución y tanques elevados en el Municipio de Fortul, Departamento de Arauca. Se toman los datos en los puntos con un medidor multiparamétrico marca Hanna Instruments portátil modelo HI 98129, lo que nos permite medir las variables conductividad eléctrica (CE), pH, solidos totales disueltos (por sus siglas en ingles TDS) y temperatura, del mismo para medir la alcalinidad y el contenido de cloro libre residual se realizó con mini fotómetros, los fueron registrados en una planilla diseñada para realizar la descripción general de todas las variables a medir y monitorear en este estudio, la investigación se realizó con las viviendas ubicadas en el casco urbano del municipio de Fortul cuenta con una población de 6698 habitantes de acuerdo a la información obtenida por el Departamento Nacional de Planeación DNP en el año 2015, del análisis realizado los resultados producto de la modelación computacional de la red de distribución con EPANET, se identificó una variación en la concentración del cloro libre residual y su comportamiento en función del tiempo, temperatura, pH, alcalinidad y conductividad. Concluyendo que la calidad del agua en el municipio de Fortul en relación al residual de cloro libre monitoreado en los puntos de muestreo, se encuentra entre el rango establecido en la normatividad nacional vigente, no obstante, es necesario monitorear la calidad del agua en las acometidas debido a la distancia existente de las viviendas a los puntos de muestreo.

En la investigación realizada (8), se refiere a la evaluación y planteamiento, para mejorar el sistema de agua potable. Metodología: la población de investigación son las líneas de conducción de red de agua para consumo humano del lugar llamado Santa Teresita, lo primero que realizaron fue una recopilación de información de la red actual, seguidamente efectuaron el planteamiento de soluciones que ayudaran a mejorar el funcionamiento del sistema de agua para consumo poblacional futura. Los instrumentos usados son los planos catastrales de lugar y para realizar el modelamiento hidráulico se utilizó el software waterCAD. Resultados y conclusiones: el sistema de distribución que tiene la parroquia presenta problemas de presión, Las redes de distribución de agua muestra dificultades de presiones debido a los escasos puntos de conexión que regulen las presiones también que tienen los diámetros de 110, 90, 63 y 50mm en la evaluación de presiones.

En la investigación elaborada (9), se efectuó la demostración del cloro del agua tratada en el sistema de distribución en la parroquia Chandu. Metodología: se empleó la observación de

los valores obtenidos en lo puntos de muestreo y luego la explicación de los resultados que se obtiene con la modelación hidráulica, como objetivo se tuvo que simular el cloro residual y evaluar si estas cumplen con los parámetros a lo largo de la Parroquia Chanduy haciendo uso del software WaterCAD observamos el comportamiento del cloro residual, la población fue la parroquia Chandu, donde se tuvo 6 puntos de muestreo. Resultados: el valor del cloro residual para las 3 a 12 horas oscila entre 0,3 a 1,5 mg/L por tal podremos afirmar que el agua es adecuada para que consuma la población. Conclusiones: En los puntos designados en el sistema de distribución del agua tratada observamos el porcentaje de concentración de cloro: Pechiche 1,0 mg/l, Manantial de Chanduy 0,8 mg/l, Parroquia Chanduy 0,7 mg/l, Tugaduaja 0,4 mg/l y en la Comuna Engunga 0,3 mg/l. por tal afirmamos que el cloro residual está dentro de los parámetros establecidos según la norma ecuatoriana que indica rangos de 0,3 a 1,5mg/l.

En la investigación elaborada (10), busca como prioridad analizar el sistema de repartición de agua tratada, ubicado en el radio urbano de la ciudad de Jipijapa. Metodología: el método de la investigación fue aplicada ya que se usaron formulas, ensayos de la calidad de agua y modelamiento hidráulico de las redes de agua para consumo humano, la población en la investigación estuvo conformado por las ciudades: Sultanadel café, barrio Pedro y Pablo Cdla. Parrales y Guales, Cdla. Luis Bustamante, Lot. José Gregorio, Lot. 6 de agosto. Las muestras se obtuvieron de la red de distribución para ser analizadas en el laboratorio como los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Se utilizó instrumentos de laboratorio para el análisis de agua también instrumentos de escritorio para los apuntes así mismo se hizo uso del software waterCAD con este programa se realizó el modelamiento de concentraciones de cloro en el sistema de distribución de agua. Resultados los parámetros microbiológicos cumplen con la norma 1108, los parámetros físicos y químicos cumplen con la norma, el porcentaje de hipoclorito residual libre sobre el estanque y en las líneas de distribución de agua potable de agua, no cumple con la norma, el resultado mediante el modelamiento hidráulico de la red de distribución mediante el software waterCAD es que los parámetros no se cumplen en diferentes puntos de la red. Conclusión: los parámetros de cloro residuales en el sistema de distribución son menor a 0,01 mg/L y en otros puntos es ausente la concentración del cloro residual, por tal no cumplen con los parámetros mínimos establecidos por la Norma de calidad NTE INEN 1108.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En investigación elaborada (11) consiste en realizar el modelamiento y simulación del cloro residual libre con el software WaterCAD, en la red de distribución de agua potable del caserío de Pueblo Nuevo del departamento de la libertad, seguidamente determina la dosificación optima del cloro, a fin de garantizar la desinfección del agua

en toda la red.

Para lograr su cometido el investigador realiza la medición del cloro residual en los distintos nodos de la red, estos datos le permiten obtener el coeficiente de decaimiento del cloro en el seno del agua (Kb), mientras que el coeficiente de reacción en las paredes de la tubería (Kw) se asume. Luego de realizada la simulación el investigador procede a determinar la dosificación optima del cloro en el reservorio, de tal manera que se pueda asegurar que los valores del cloro residual libre estén en el rango establecido por la normativa peruana. El estudio concluyo:

- ✓ La concentración del cloro (1.78 mg/L) en el reservorio es inadecuada, pues no garantiza los valores mínimos establecidos por la norma peruana para el cloro residual (0.5 mg/L), esto se debe generalmente a que existen muy bajas velocidades del flujo del agua en las tuberías.
- ✓ Al finalizar los ensayos de D.P.D (dietil-p-fenilen-diamina) se obtiene un coeficiente Kb=2.26 dia^{-1}.
- ✓ El valor de Kw = 0.065 m/d se estima a partir de la calibración del modelo. Debe tenerse en cuenta que cuando Kw tiene valores altos, implica que hay materia orgánica adherida a las paredes de la tubería, produciéndose una reacción con el cloro, por lo que se da una disminución en la concentración del cloro en el flujo del agua.

En investigación elaborada (12)**,** consiste en analizar un modelo para el comportamiento en la red de distribución de agua potable de la concentración de cloro residual en la ciudad de Azogues, mediante el programa EPANET en el periodo estático y extendido, posteriormente se determina la relación existente entre el cloro residual libre y la corrosión.

El modelo es calibrado y validado, con valores de Kb y Kw obtenidos de campo, mientras que, para determinar la corrosión en las tuberías de cobre de la red de distribución, hicieron uso de cupones extraíbles que fueron realizadas con el mismo material de la tubería. “Estos cupones fueron instalados en agua a diferentes concentraciones de cloro durante 30, 60, 90 y 180 días, luego de lo cual se determinó la tasa de corrosión por pérdida de peso" (García, 2019). El investigador estableció que los valores de las concentraciones del cloro residual libre simuladas con EPANET son semejantes a las concentraciones reales medidas en los distintos nodos de la red; así mismo determina que el cloro si influye en la corrosión de las tuberías de cobre. El estudio concluyo:

- ✓ La información registrada sobre la calidad del agua, en conjunto con las características hidráulicas de la red de agua potable, mostro que hay una predisposición a que la red posea una tendencia corrosiva.
- ✓ La validación del modelo hidráulico permite observar el funcionamiento y decaimiento del cloro en toda la red.

En la investigación elaborada (13), consistió en realizar el modelamiento de hipoclorito de calcio residual en el sistema de conducción, la población muestral fueron líneas de distribución de agua en el lugar de Pueblo Nuevo de Santiago de Chuco en La Libertad. En lo cual se realizó 13 puntos de muestro de agua en diversos lugares del sistema de distribución. Metodología: se realizó la identificación de los puntos de muestreos en la red de distribución, luego el modelamiento y simulación hidráulico, usando como instrumento el software WaterCAD. Resultados. Entre el punto número 1 al 8 cumplen con valor que menciona el D.S. Nº 031-2010-SA, del punto numero 9 al 13 tienen valores inferiores a 0.5mg/L Conclusiones: la concentración en el reservorio es de 1.78 mg/L lo cual no es adecuado para que llegue a las viviendas en la construcción optima requerida, a partir del punto de monitoreo numero 8 hacia adelante la concentración de cloro residual está por debajo del minino valor que es 0.5 mg/L según lo establecido por el D.S. Nº 031-2010-SA, al analizar la concentración de cloro residual con respecto al tiempo, se halló el coeficiente de reacción del hipoclorito de calcio con la masa de agua de k_b =2.26dia^{-1} por tanto está en el nivel óptimo y con lo respecta al coeficiente de reacción con las paredes interna de la tubería k_w =0.065 m/día.

En la investigación elaborada (14), reside en comprobar la baja concentración de cloro en relación al coeficiente de reacción con las paredes de las tuberías en las redes de dispersión de agua tratada, utilizando un diseño de cloro por goteo en la comunidad de San Miguel de Monterrey. El método usado para esta investigación es la observación, porque se ensayará la cantidad del cloro en las líneas de distribución. La población es el sistema de distribución de San Miguel de Monterrey en la región Ancash, el instrumento de modelamiento se realiza mediante el uso del software waterCAD. Resultados: la cantidad de cloro suelto o libre disminuye en las redes de agua potable, en los nodos más alejados, coeficiente resistencia de la masa de agua en tubos de pvc se obtuvo un valor de Kb= -1.49 y el coeficiente en las paredes de la tubería fue de Kw= -0.30. Conclusiones: según el estudio realizado se afirma, que la disminución de la concentración del cloro, varía por diferentes factores físicos, químicos y microbilogicos.

En la Investigación elaborada (15), propone a establecer la reducción del hipoclorito en relación al coeficiente de resistencia en la masa del agua dentro del sistema de conducción de agua tratada. Metodología: el tipo de investigación es no experimental y observacional,

primero se determinará la cinética del cloro y luego el análisis de la cinética del cloro. La población de la investigación es de 52 viviendas. Instrumentos: se tomará muestras de cloro residual in situ y luego el uso del software waterCAD para la simulación y modelación hidráulico del sistema de dispersión de la red de agua. Resultados: Hay decaimiento de concentración de hipoclorito de calcio residual en los diferentes nodos con respecto al valor inicial en el reservorio. Conclusión: el decaimiento del cloro residual de debe a diferentes factores como son los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en el sistema de dispersión de la red de agua.

En la investigación elaborada (16), es sobre la eficiencia técnica de la red agua para consumo humano en un par localidades rurales en Jaen. Metodología: en nivel de la investigación es descriptivo, la población de la investigación será considerado las líneas de dispersión de agua tratada de las comunidades: San José del Alto y San Miguel, se realiza nuestros de agua en campo para luego llevarlos al laboratorio y determinar las características de los parámetros físicos, químicos y biológicos, por ultimo realizar trabajo de gabinete haciendo uso del software waterCAD, se usaran formulas y operaciones matemáticos básicos que ayudaran conseguir los resultados. Resultados: Las velocidades obtenidos están por debajo de lo normado en todos los tramos de la red de distribución. Con respecto a la presión del agua se aprecia que, en un determinado punto, donde se ubica una válvula de aire, se obtiene valor de presión mínima. Por ello las no tiene las condiciones óptimas para el uso del agua para consumo humano. Por se requiere un nuevo diseño del sistema de abastecimiento de agua es ambas localidades. Conclusión: es evidente los problemas en el recurso hídrico dentro de las tuberias de distribución, acciones que pueden resolverse de inmediato este problema es, realizar un nuevo de la red de distribución y una nueva construcción de un tanque de repartición, también hacer que cada reservorio sea independiente para ambos pueblos.

En la investigación elaborada (17), el objetivo es, obtener un piloto de simulación del cloro residual, en los sistemas de tuberías de agua de categoría I, en la ciudad de Rioja. Metodología: la investigación es aplicada con un diseño no experimental-longitudinal, teniendo una población total de 4500 conexiones domiciliarias y una muestra de 146 conexiones, el software que se utilizó en la modelación de cloro residual fue waterCAD. Resultados: los valores obtenidos en campo con el clorador manual de los 146 puntos oscilan en un mínimo valor de 0.53 mg/L y un máximo valor de 0.90 mg/L por tal está dentro del rango que establece los LMP (0.5 mg/L - 5 mg/L), también de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud y según establece el Ministerio de Salud del Perú (MINSA). Conclusión: de acuerdo con la modelación del cloro residual con el software waterCAD la localidad de Rioja, se llega a la conclusión que el agua que transcurre por el sistema de distribución contiene la concentración

y cantidad necesaria de cloro residual para el uso de los pobladores, debido a que la cantidad del cloro libre están en valores de los 0.5 mg/L - 1 mg/L.

2.1.3 Antecedentes locales

En la investigación elaborada (18), el fin del proyecto es calcular la dosis adecuada de cloro en el sistema de distribución del recurso hídrico con hipoclorador por gotas, para determinar la concentración de cloro residual libre. Metodología: se usó el método general es el método científico, el tipo de la investigación es básica, con nivel explicativo y diseño no experimental. La población considerada es los 60 hogares con conexiones del centro poblado de Santa Rosa, la muestra es todas las viviendas por ser poca cantidad. Instrumentos: se utilizó el comprobador de cloro para realizar el trabajo en in situ, también se hizo del software waterCAD para la modelamiento y simulación hidráulico de la cantidad de cloro libre en el sistema de distribución. Resultados: aplicando la dosis de cloro de 3500 ppm, la concentración de cloro residual libre está por debajo del valor mínimo de 0.5 mg/L, si la dosis de cloro suministrada es de 4000 ppm, la concentración de cloro residual libre en las viviendas está en rango de 0.5 a 1.0 mg/L. Conclusión: los sesenta hogares del Centro Poblado de Santa Rosa al suministrar 3500 ppm de cloro en el sistema de tuberías de agua con hipoclorador por goteo el 83.33% de viviendas está por debajo de los valores que establece la norma de calidad de agua para consumo humano y el 16.67% cumple con los valores de la norma. al suministrar 4000 ppm de cloro, resulta que tan solo el 23.33% excede el valor que establece el D.S. Nº 031-2010-SA y el 76.67% cumple con los valores mínimos establecidos.

En la investigación elaborada (19), tuvo como enfoque determinar la cantidad de dosis de hipoclorito presente en el reservorio de agua. Metodología: la investigación es de tipo aplicada con un nivel descriptivo, haciendo uso del método inductivo – deductivo y usando un diseño no experimental transversal descriptivo, donde la población es 200 viviendas que hacen uso a la red de distribución de agua, con un muestreo a 132 hogares con conexiones de agua de la red. La técnica fue la observación. Resultados: indica que el sistema no está cumpliendo con la cantidad mínima de dosis de cloro que garantice la calidad del agua para el consumo de las viviendas ya que la concentración está por debajo del mínimo valor establecido. Conclusiones: el valor mínimo de la dosis de cloro hallado en el reservorio es de 0.40 mg/L y valor máximo es de 0.50 mg/L, por tal el agua no es óptimo para el consumo humano.

2.2 Marco legal

Para el presente estudio se ha considerado las siguientes normativas:

2.2.1 Reglamentos

Para el diseño hidráulico de la red de distribución de agua para consumo humano de la comunidad campesina de Sacsamarca, se ha tenido en consideración el “Reglamento nacional de edificaciones”, y con especial consideración en la norma OS.050 denominado “Redes de distribución de agua para consumo humano”, pues en esta norma se establece los parámetros necesarios para el diseño hidráulico de redes de agua potable, así mismo plantea las restricciones de presiones que deben tener en los nodos de la red y las restricciones de velocidad del flujo de agua que circula en las tuberías.

Para el análisis del cloro residual dentro de la red de agua potable, se tuvo en consideración el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, que fue elaborado por "Dirección General de Salud Ambiental" del Perú, y aprobado mediante D.S. N° 031-2010-SA. En este reglamento se establece los límites máximos permisibles de los parámetros parasitológicos, organolépticos, microbiológicos, radiactivos, químicos orgánicos e inorgánicos. Mediante este reglamento estableció cuales son los valores mínimos permisibles del cloro residual dentro de la red de agua potable de estudio.

2.3 Marco conceptual

Los distintos tipos de volúmenes de agua que se presentan en la naturaleza, pueden ser caracterizados hidrológicamente, biológicamente y fisicoquímicamente. Cuando se realiza un estudio integral de las masas de agua, lo que se pretende realizar es un análisis de la calidad que esta tiene. El ciclo hidrológico permite determinar si son cuerpos de agua dulce (ríos, lagos, etc.) o cuerpos de agua salada; mientras que un análisis fisicoquímico permite determinar la cantidad de minerales y el valor de los sólidos disueltos que contiene el agua, es importante mencionar que las características fisicoquímicas dependen principalmente del clima, geología, hidrogeología, etc. del lugar. Finalmente, se puede mencionar que las características biológicas dependen principalmente de la fauna, flora y condiciones climáticas de las especies propias del lugar.

Cuando se trata de sistemas de distribución de agua potable, inicialmente se realiza el diseño hidráulico de la red, en esta etapa se establece cuáles serán los diámetros de las tuberías, y que transportaran un determinado caudal hacia las

viviendas; considerando principalmente la presión que existirá en los puntos de entrega y la velocidad del flujo del caudal de agua que circulara por las tuberías.

Seguidamente se debe considerar cual es la calidad del agua que circula por las tuberías, para realizar este análisis es necesario incorporar al modelamiento anterior, ecuaciones que contemplan las variables de la calidad del agua.

Finalmente, al realizar la simulación completa del sistema se podrá obtener cuales son los valores del cloro residual en los puntos de entrega del agua (nodos de la red) y de esta manera poder establecer si cumple con los valores mínimos admisibles por la norma peruana.

2.4 Bases teóricas

2.4.1 Sistema de abastecimiento de agua en el ámbito rural

Se puede definir a una red de distribución de agua potable como el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el reservorio hasta la toma domiciliaria, la red debe ofrecer un funcionamiento adecuado proporcionando el servicio sin interrupciones (20).

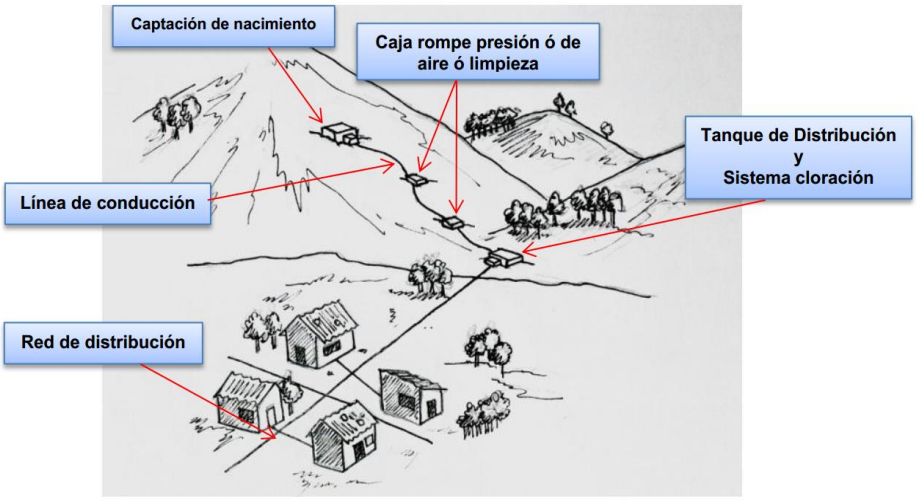


Figura 1. Esquema de un sistema convencional de agua por gravedad en el ámbito rural, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 52 (20).

- ✓ **Tubería:** Se le denomina de esta manera “al conjunto de tubos de sección circular y su sistema de unión o ensamble. La red de distribución está formada

por un conjunto de tubos que se unen en diversos puntos denominados nodos o uniones" (20).

Figura 2. Tubos PVC para agua potable a presión, tomado de "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución", por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 37. (20)

- ✓ **Piezas especiales:** "Son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tubería de diferente material o diámetro y terminales de los conductos" (20).

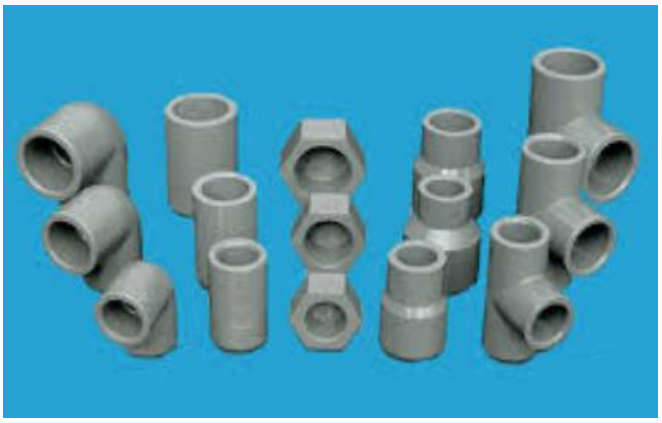


Figura 3. Accesorios para tubería en redes de agua potable, tomado de "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución", por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 37 (20).

- ✓ **Válvulas:** Estos accesorios se usan para evitar o disminuir el flujo del agua en la tubería, pueden ser de dos tipos: las válvulas de aislamiento que sirven para cortar el flujo en determinados tramos de la red, esto con el fin realizar reparaciones en la red; las válvulas de control que se usan para regular el caudal

o la presión del agua, así como también para permitir la entrada o salida de aire y sedimentos en la red (20).

Figura 4. Válvula compuerta para redes de agua potable, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 39 (20).

- ✓ **Captación:** Son un conjunto de estructuras, cuya función es captar el agua desde una fuente; dependiendo del tipo de fuente, las captaciones pueden ser superficiales o subterráneas, aunque también existen sistemas de captación para agua de lluvia (20).

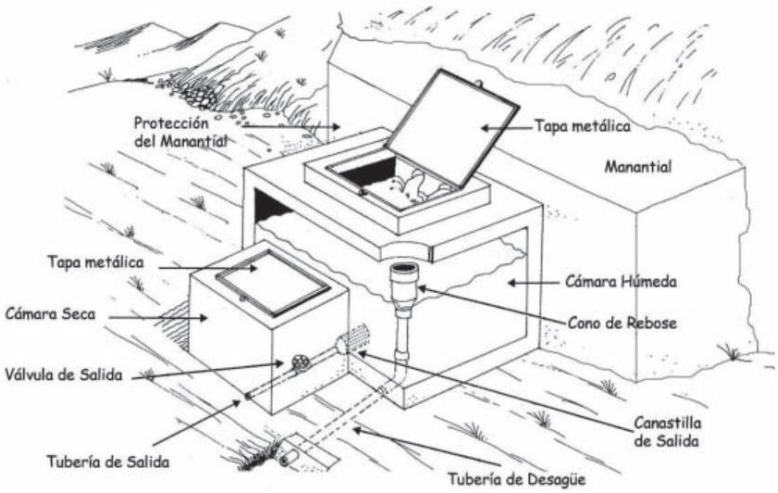


Figura 5. Captación de agua en ladera, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 51 (20).

- ✓ **Tanques de distribución:** Es una estructura ubicada entre la captación y la red de distribución, cuyo objetivo es almacenar el agua que proviene de la fuente; los tanques de distribución permiten regular la distribución del flujo del agua (20).

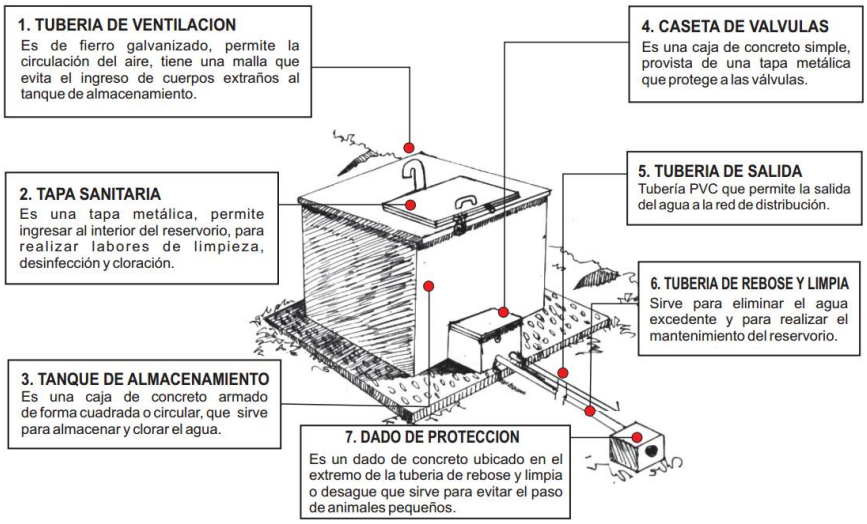


Figura 6. Tanque de distribución, tomado de "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución", por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 52 (20).

- ✓ **Tomas domiciliarias:** Se le denomina así al conjunto de piezas y tubos que permiten la conexión entre la tubería de la red y la toma de agua en la vivienda del usuario (esto incluye la instalación de un medidor).

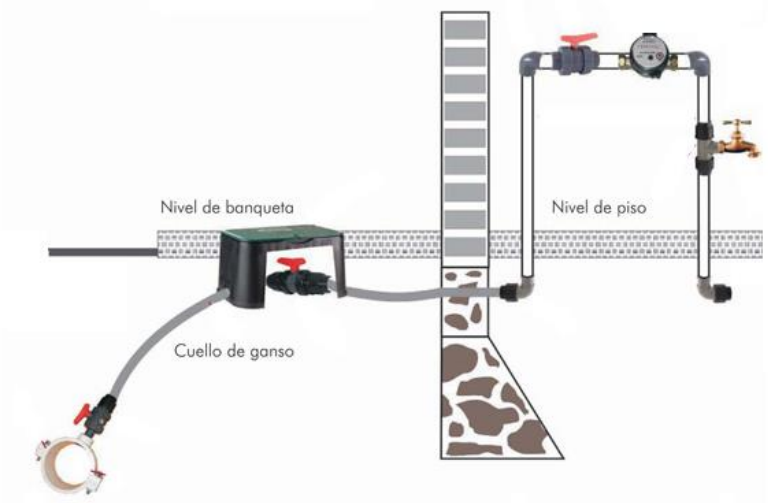


Figura 7. Toma domiciliaria, tomado de "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución", por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 55 (20).

- ✓ **Cámaras rompedoras de presión:** Son estructuras que permiten, que el flujo del agua en la tubería se descargue en estas, con el fin de eliminar la presión hidrostática y establecer un nuevo nivel estático aguas abajo (20).

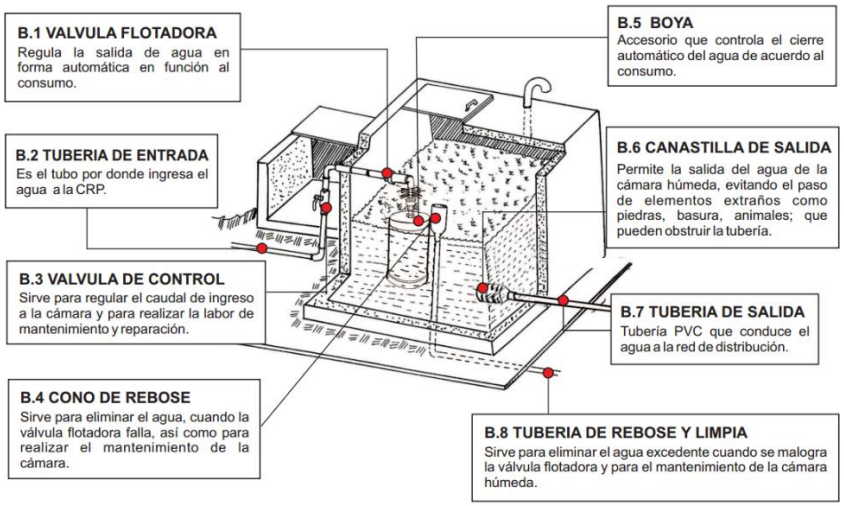


Figura 8. Cámara rompedora de presión tomada de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, por COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2018, p. 53 (20).

2.4.2 Calidad del agua para consumo humano

Antes de planificar el sistema de abastecimiento de agua siempre debe evaluarse inicialmente la calidad del agua. “El agua en la naturaleza contiene impurezas, que pueden ser de naturaleza físico, química y bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente” (21). Así mismo debe tenerse presente que “cuando las impurezas presentes, arenas, microrganismos debido a las descargas de las aguas de los inodoros, pilas, etc., sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de consumirse” (21).

2.4.2.1 La Composición del agua

El agua se compone de dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno (H2O), sin embargo. El agua en la naturaleza contiene otros elementos y sustancias que pueden ser dañinas para la salud de las personas. “Por eso, conviene vigilar su composición examinando diversos parámetros. Los parámetros miden características físicas, químicas y microbiológicas del agua, que sirven para evaluar sus condiciones para los diversos usos” (22).

2.4.2.2 Contaminantes del agua y sus efectos sobre la salud

Según al tipo de contaminante incorporado al agua, esta puede sufrir alteraciones físicas, químicas y biológicas (23):

- ✓ Contaminante físico - químico: Son aquellas que partículas liquidas o sólidas, que dotan al agua de turbiedad, color, olor, etc. y que pueden provocar malestares en la salud de la población. “Es frecuente hallar en el agua, minerales de fierro, magnesio, calcio, manganeso, cloruros, carbonatos, nitritos, nitratos, sulfatos, hidróxidos, etc., sea en forma de solución, en suspensión formando sales, producen generalmente envenenamiento y anormalidades en el organismo” (23).

El plomo, puede definirse como un veneno acumulativo, que generalmente está presente en aquellas aguas contaminadas con relaves mineros, aguas resultantes de laboratorios e industrias, tuberías de plomo que aún se usan redes de agua potable y que al deteriorarse generan un envenenamiento llamado saturnismo.

El mercurio, arsenio, cadmio y cianuro, son contaminantes tóxicos altamente peligrosos, produciendo en la mayoría de los casos efectos letales cuando se trata de altas concentraciones.

El yodo, flúor, bromo y cloro, son agentes oxidantes debido a su acción tóxica; estos son usados, generalmente, para eliminar los microorganismos presentes en el agua; cuando están presentes en concentraciones mayores a lo estipulado por el reglamento pueden causar intoxicaciones en las personas.

- ✓ Contaminantes microbiológicos: “Salmonella Tiphi, Bacilo productor de la fiebre tifoidea. Serotipos de salmonella, Productores de la salmonelosis. Virus de hepatitis, origina la hepatitis infecciosa. Bacilos disentéricos, shiguella Dysenteriae, shiguella flexner, shiguella boydii, shiguella sonnei, que causan diferentes tipos de disenterías” (2). Así mismo, la “Schistosoma mansoni, Haematobium, japonicense, parásitos que son productores de la esquistosomiasis. Guardia lamblia, Protozoario flagelado, produce la enfermedad giardiasis” (2).

Según la Comisión del Agua (20), “los problemas de salud relacionadas con la calidad del agua, son llamadas enfermedades de origen hídrico, responsables del 65% de las hospitalizaciones. Algunas pueden deberse a químicos procedentes de la agricultura, la industria o la minería”. Sin embargo, las infecciones más frecuentes son aquellas causadas por la

contaminación con excrementos en el agua. “Entre estas figuran el cólera, la tifoidea, la salmonelosis y las diarreas por Escherichia coli (E. Coli). Un segundo grupo se origina por la presencia de parásitos que tienen intermediarios en el agua, podemos nombrar la schitomiosis, la paragonimiosis y la fasciolosis” (2).

2.4.3 Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

En el Perú se tiene el "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano" aprobado a través del D.S. N° 031-2010-SA, que establece los requisitos de la calidad del agua para consumo humano, cuyo fin es garantizar la calidad del agua, prevenir riesgos sanitarios, así como proteger la salud y el bienestar de la población.

“Este reglamento es de obligatorio cumplimiento dentro del territorio nacional, cuando se trate de actividades de gestión, administración, operación, mantenimiento, control, supervisión o fiscalización del abastecimiento del agua para consumo humano, desde la fuente hasta su consumo” (24).

2.4.4 Tratamiento del agua por cloración

Antes de distribuir el agua en la red se debe realizar un proceso de desinfección del agua, a fin de garantizar la calidad del agua, existe una gran cantidad de métodos para tratar el agua, sin embargo, según la reglamentación existente debe existir un residuo del desinfectante en los puntos finales de la red (24).

La desinfección generalmente se realiza por medio de procedimientos físicos y químicos, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tipos de desinfección del agua

Tipo de desinfección	
Físico	Calor, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, micro filtración, ultrafiltración, nano filtración, osmosis inversa, radiación ultravioleta
Químico	Cloro, ozono, permanganato potásico, peróxido de hidrogeno

Nota: Tipos más comunes de desinfección del agua, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 106.

Antes de seleccionar el desinfectante apropiado se debe tener en consideración los siguiente (20):

- ✓ Proporcionar agua libre de patógenos.
- ✓ Evitar la producción de subproductos de la desinfección.
- ✓ Mantener una calidad bacteriológica en la red de abastecimiento, evitando los recrecimientos bacterianos.

El método para la desafección del agua más aplicado a nivel mundial es el método de la cloración, esto debido a su bajo costo y fácil aplicación; es muy común optar por este método en los países que están en vías de desarrollo (20).

La principal finalidad del método de la cloración es destruir las bacterias en el agua, esto gracias a su acción germicida, también produce otros efectos como la eliminación de ciertos compuestos que producen malos olores y sabores, de la misma manera produce la oxidación del hierro, los sulfuros de hidrógeno y el manganeso (20).

Tabla 2. Diferentes métodos de desinfección del agua usando el cloro

Desinfección	Proceso	Eliminación	Ventajas	Restricciones
Cloración mediante cloro liquido (hipoclorito de sodio)	Desinfección con cloro localmente disponible (solución de hipoclorito de sodio).	Destruye casi todos los patógenos transmitidos por el agua, oxida las sustancias orgánicas.	Se puede aplicar en grandes volúmenes de agua.	El suministro local de hipoclorito debe ser continuo.
Cloración mediante hipoclorito de calcio granular (HTH)	Se prepara una solución madre con una concentración de cloro, para incorporar la dosis correspondiente para este fin.	Destruye casi todos los patógenos transmitidos por el agua.	Tiene un contenido de cloro en polvo altamente concentrado, que va desde el 65% hasta el 70% de cloro disponible.	En la mayoría de países debe importarse.
Tabletas de cloro	Desinfección con comprimidos de hipoclorito de calcio que se disuelve en el agua.	Destruye casi todos los patógenos transmitidos por el agua, oxida las sustancias orgánicas.	Relativamente fáciles de distribuir y utilizar, en particular en situaciones de emergencia. Tiene efecto residual.	No se dispone a nivel local. Resulta costoso para uso a largo plazo. El cloro disponible en el comprimido puede perder su potencia con los años.

Nota: Diferentes formas de procedimientos de desinfección del agua para consumo humano, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 107.

2.4.4.1 Factores que influyen en la cloración

A continuación, se mencionan los principales factores que intervienen en el tratamiento y desinfección del agua con la sustancia del cloro (2):

- ✓ "Naturaleza, concentración y distribución de los organismos que se van a destruir, y de los productos resultantes de su reacción con el agua, así como de las sustancias disueltas o en suspensión presentes en el agua".
- ✓ "Tipo y concentración del desinfectante empleado".
- ✓ "Naturaleza y temperatura del agua objeto del tratamiento".
- ✓ "Tiempo de contacto entre el cloro y el agua".
- ✓ "pH del agua".
- ✓ "Mezcla y dispersión a través de toda la masa de agua".

De los anteriores factores mencionados, podemos decir que existen muchos organismos presentes en el agua y que debido a eso los requerimientos para la concentración de cloro en la eliminación de estos organismos puede ser muy variada, para que la cloración sea eficaz es necesario realizar una distribución homogénea del cloro en toda la red (2).

2.4.4.2 Mecanismo de acción del cloro

El cloro realiza una acción desinfectante en el agua, debido a que tiene la capacidad de perforar la pared celular del organismo y, finalmente, atacar su sistema enzimático, causando la muerte del patógeno. "Los agentes desinfectantes son el ácido hipocloroso (HOCl) y el ion hipoclorito (OCl^-). El ácido hipocloroso, se disocia en iones hidrógeno y iones hipoclorito en la siguiente reacción reversible" (20):

$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^-$$

"El cloro disminuye el pH del agua a causa de los iones hidrógeno que se producen en las reacciones con el agua" (20).

2.4.4.3 Importancia del pH

"La desinfección es más eficiente con niveles de pH bajos debido a que favorece la formación de ácido hipocloroso, un agente alrededor de 80 veces más eficaz que el ion hipoclorito" (20).

ION HIPOCLORITO: predomina en un pH > 7.5

ÁCIDO HIPOCLOROSO: predomina en un pH < 7.5

2.4.4.4 Dosis de cloro

Para garantizar la calidad del agua es necesario añadir una dosis de cloro, de tal manera que al final del tratamiento el agua contenga en mínimo valor establecido por el reglamento, que es de 0,5 mg/l de cloro libre residual en todos los nodos de la red. (25).

"El cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso o de iones hipoclorito se conoce con el nombre de cloro libre disponible, pero no todo el cloro que se agrega al agua da lugar a estas formas" (25). Debe tenerse en consideración que, para realizar la desinfección del agua, la dosis apropiada corresponde a la suma de la demanda de cloro en la red y el cloro residual libre presente.

DOSIS DE CLORO = DEMANDA DE CLORO + CLORO LIBRE RESIDUAL

En la siguiente figura se puede observar la reacción que se da cuando se añade progresivamente el cloro al agua (20):

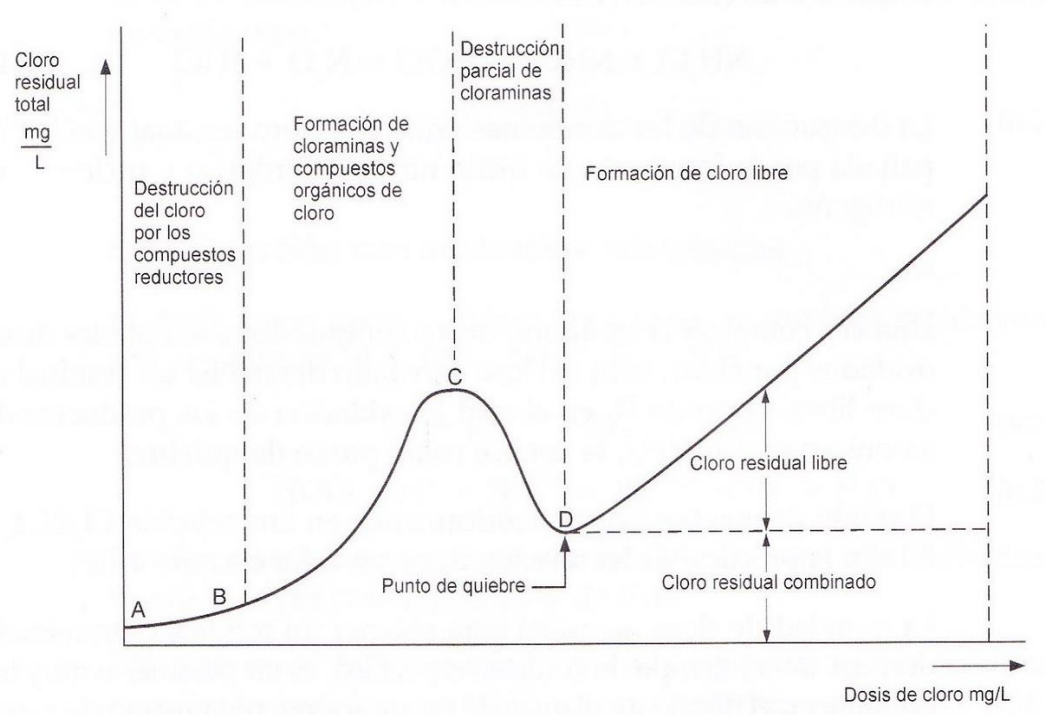


Figura 9. Curva típica de la reacción del cloro al añadirlo progresivamente en el agua, tomado de "Decaimiento del cloro por reacción con el agua en redes de distribución", por

ALCOCER-YAMANAKA, Víctor H., TZATCHKOV, Velitchko y ARREGUÍN CORTÉS, Felipe I., 2004, p. 5 (23).

"La primera porción del cloro añadido reacciona con las sustancias fácilmente oxidables tales como Fe^{++}, Mn^{++}, NO_2^-, NH_3 y la materia orgánica reacciona con el cloro reduciendo la mayor parte del ion cloruro (etapa A - B)" (23). Tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continúa reaccionando con el amoniaco para formar cloraminas y otros compuestos orgánicos (cloro residual combinado, etapa B - C), pero al seguir aumentando la dosis de cloro, algunas de las cloraminas se convierten en tricloruro de nitrógeno, mientras que las restantes se oxidan a óxido nitroso y nitrógeno (N_2), reduciéndose el cloro a ion cloruro hasta llegar al punto de quiebre (etapa C - D). A partir de aquí, el cloro libre disponible (cloro sin reaccionar) aumenta progresivamente (etapa D).

2.4.5 Simulación del cloro residual con WATERCAD

Actualmente, existen diversos modelos matemáticos que nos permiten modelar hidráulicamente la red, así como realizar simulaciones de la calidad del agua. estas simulaciones nos otorgan resultados beneficiosos para planificación, operación y gestión de la red. Los modelos de calidad del agua nos permiten observar el comportamiento del cloro en toda la red y determinar el cloro residual libre en los nodos de la red (20).

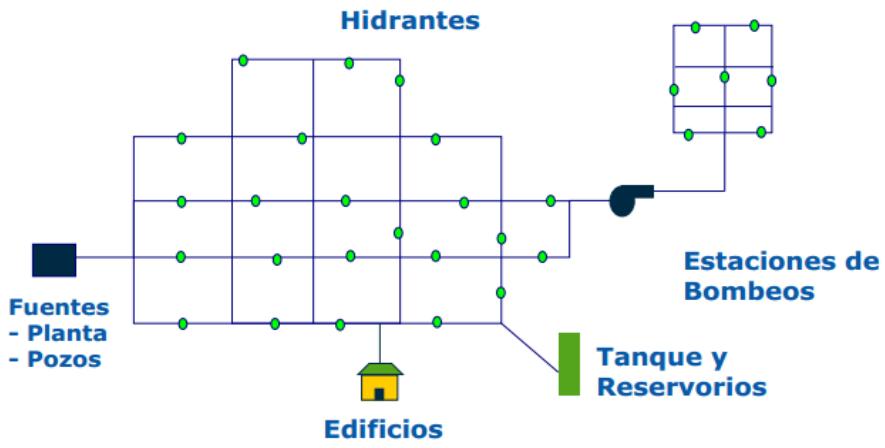


Figura 10. Representación de una red de agua en WATERCAD, tomado de "Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución", 2018, p. 30. (20)

Para realizar la modelación de la calidad del agua se debe tener en consideración lo siguiente (6):

- ✓ La ley de la conservación de la masa en los nodos y las tuberías de la red.
- ✓ El fenómeno de mezcla instantánea y completa del agua con el cloro en los nodos de la red.
- ✓ Las reacciones cinéticas que se dan en el flujo y la tubería, a fin de poder medir las variaciones de las sustancias que se trasladan a través de las tuberías y depósitos.

Para realizar la distribución del flujo del agua en una red, se debe tener presente los principios de conservación de masa y de energía, por lo que un análisis hidráulico para determinar las velocidades y presiones del flujo de agua en las tuberías y nodos, se puede realizar sin considerar el análisis de la calidad del agua, sin embargo para poder realizar el análisis de la calidad del agua en la red, si es un requerimiento primordial haber realizado el análisis hidráulico de la red, puesto que el transporte de las sustancias si están directamente relacionadas con la velocidad del flujo (25).

2.4.5.1 Mezcla del flujo y el soluto en los nodos de la red

La inyección y la dilución son los encargados de los cambios de la calidad del agua dentro de los nodos de la red de tuberías. A fin de determinar el resultado de combinar flujos con distintas concentraciones de soluto, se parte del supuesto de que en los nodos ocurren mezclas instantáneas y completas, dando como resultado de que en las tuberías aguas abajo existan concentraciones uniformes en toda la sección transversal del conducto (20).

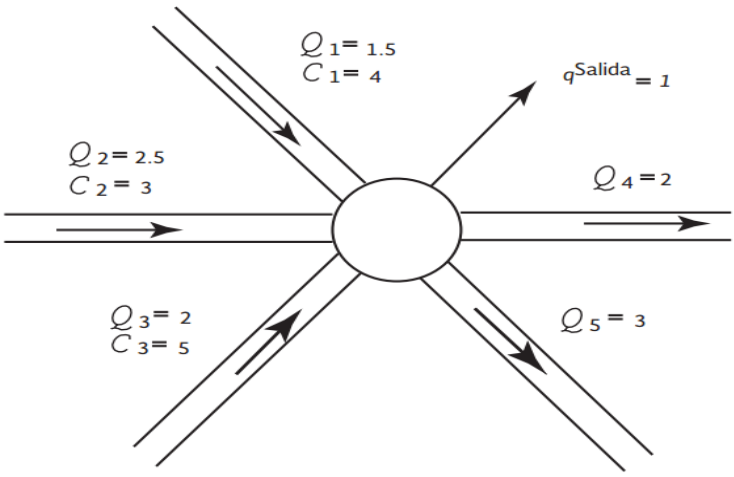


Figura 11. Nodo de conexión de tuberías con tres entradas y tres extracciones donde se produce la mezcla, tomado de "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución", 2018, p. 113 (20).

De la anterior figura, considerando el balance de masas del soluto en cada nodo, podemos definir la ecuación de mezcla en el nodo:

$$C_1Q_1 + C_2Q_2 + C_3Q_3 - C_4Q_4 - C_5Q_5 - C_{salida}q^{salida} = 0$$

A la entrada de los nodos se consideran signos positivos, mientras que a la salida de los nodos se consideran signos negativos. Es importante determinar la dirección del flujo del agua, las velocidades del flujo en el conducto y las concentraciones de sustancias en la entrada de los nodos, a fin poder realizar un adecuado análisis de la calidad del agua. En este sentido la ecuación se puede establecer de manera general como:

$$C_{sal} = \frac{\sum_{I \epsilon J_{en}} C_I Q_I + C_{en} q^{en}}{q^{sal} + \sum_{I \epsilon J_{sal}} Q_I}$$

"El flujo entra en el nodo a través de tuberías J_{en} y un flujo suministrado externamente a través de q^{en}. Cada uno de estos flujos puede tener una concentración de un soluto diferente, C_I y C_{en}, respectivamente" (Comisión Nacional del Agua, 2016b). Así mismo, "el flujo de salida se da en las extracciones en el nodo q^{sal}, y en el flujo conjunto de las tuberías J_{sal}. Con la suposición de mezcla completa, todas las salidas tienen la misma concentración" (20). Esta ecuación muestra claramente que el promedio ponderado de las concentraciones entrantes en el nodo es equivalente a la concentración a la salida del nodo.

2.4.5.2 Transporte del soluto por advección en una tubería

La advección es el movimiento de una partícula con el agua, en la dirección del flujo, con la magnitud de la componente de la velocidad principal. “La siguiente figura muestra el transporte por advección de un soluto inyectado al lado izquierdo de una tubería en el tiempo t, que se mueve en dirección del flujo una distancia L_{seg}” (20). De esta manera, “mientras ocurre el pulso de entrada en Δt, la masa se mueve con el líquido a la misma velocidad a través de toda la tubería. La parte delantera del pulso alcanza el extremo inferior del tubo en el tiempo t + Δt, donde Δt es el tiempo de viaje en la tubería” (20).

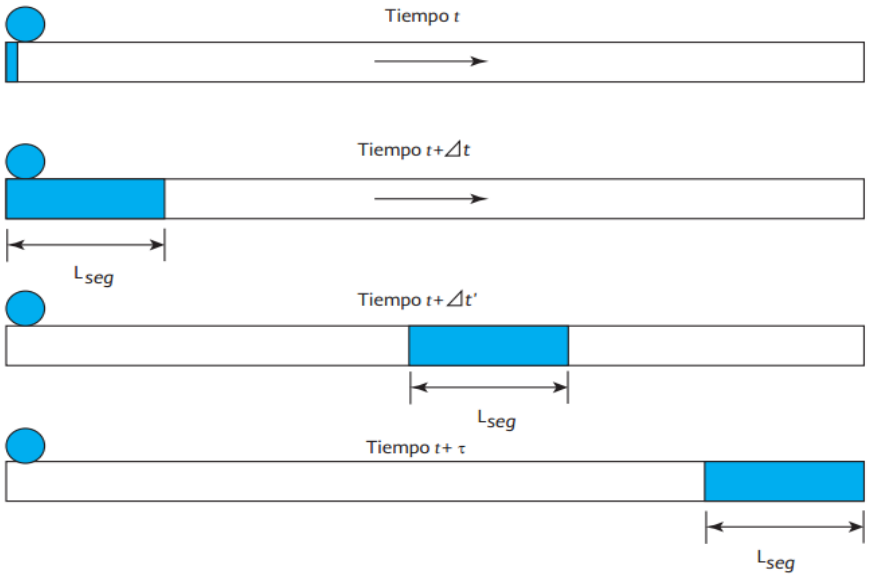


Figura 12. Transporte por advección de un soluto en una tubería, tomado de “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, 2018, p. 114 (20).

El mecanismo de transporte por advección es el que domina en la mayoría de las redes de distribución.

2.4.5.3 Estimación de orden de reacción y coeficientes

Las condiciones de contorno afectan directamente a las reacciones que se dan entre el soluto y el flujo, debido a la existencia de sustancias reactivas. Estas reacciones se dan en las paredes del tanque, en la superficie interna de las paredes de las tuberías y en el seno del agua. Gran parte de los modelos de calidad del agua usan el coeficiente de reacción total, que expresa la suma del coeficiente de

reacción en el seno del fluido con el coeficiente de reacción en la pared de la tubería (20):

$$K = K_b + K_w$$

Donde K_b y K_w son los coeficientes de decaimiento en el seno del fluido y la pared de la tubería respectivamente.

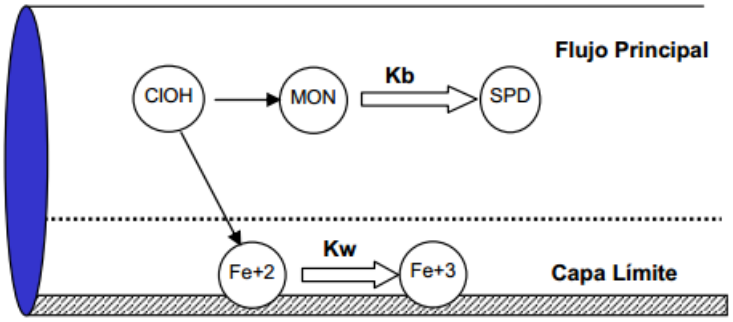


Figura 13. Zona de reacción en el seno del fluido y reacción en la pared de la tubería, tomado de "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución", 2018, p. 116 (20).

Generalmente para el obtener el Kb se realizan pruebas de frasco en campo (por ejemplo, ensayo de D.P.D), sim embargo, el coeficiente Kw es complicado de calcular, puesto que puede variar de acuerdo a las condiciones del flujo del agua, la reacción con el material de la tubería y las características en la que se encuentra la biocapa del conducto. Debemos recordar que Kw rara vez se determina para un solo conducto, es más apropiado calcular el coeficiente para toda la red, de tal forma que permita describir la eficiencia de la red.

2.4.5.4 Módulo de calidad del agua en WATERCAD

WATERCAD es un software relativamente nuevo, cuyo uso se ha extendido debido a la facilidad que brinda al usuario para el modelamiento y análisis hidráulico de redes de distribución de agua potable, así mismo cuenta con un módulo para el análisis y simulación de la calidad del agua. Este software permite representar procesos físicos, químicos y biológicos, de tal manera que puede simular el movimiento y transformación de constituyentes tales como el cloro en la red de distribución de agua.

Las ecuaciones de mezcla y transporte del cloro anteriormente mencionadas, ya se encuentran incorporadas en el software WATERCAD, lo que hace el

software es utilizar métodos Lagrangianas a fin de poder solucionar el sistema de ecuaciones de transporte y mezcla del cloro con el agua en toda la red.

2.4.6 Teoría estadística para el análisis de datos

2.4.6.1 Modelos de regresión multivariantes

Se conoce como análisis de regresión multivariante al método estadístico que permite establecer una relación matemática entre un conjunto de variables independientes y una variable dependiente. El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. Se adapta a una amplia variedad de situaciones. En la investigación científica, el análisis de regresión se utiliza para predecir un amplio rango de fenómenos.

Tanto en el caso de dos variables (regresión simple) como en el de más de dos variables (regresión múltiple), el análisis de regresión lineal puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente o criterio (Y) y una o más variables llamadas independientes o predictoras (X_1, X_2, ..., X_k), así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos. Además, el análisis de regresión lleva asociados una serie de procedimientos de diagnóstico (análisis de los residuos, puntos de influencia) que informan sobre la estabilidad e idoneidad del análisis y que proporcionan pistas sobre cómo perfeccionarlo. La ecuación general del Modelo de Regresión Lineal Múltiple es la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_i X_i + \varepsilon$$

Donde:

Y = Variable dependiente

X_i = Variables independientes

$\beta_1, \beta_2, \ldots \beta_i$ = Coeficientes que indican el peso relativo de cada variable independiente

β_0 = Constante de la ecuación

ε = Error aleatorio

Así mismo ε el error aleatorio debe cumplir con los siguientes supuestos:

- La media de la distribución de probabilidad de ε es E(ε)=0.

- La varianza de la distribución de probabilidad de ε es constante, es decir $V(\varepsilon) = \sigma^2$
- La distribución de probabilidad de ε es normal, esto es $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$
- Los errores asociados a cualquier par de observaciones distintas son independientes.

Para la solución tradicional de la ecuación se puede recurrir al algebra de matrices haciendo uso del ajuste por el Método de los Mínimos Cuadrados, la forma matricial de esta ecuación tiene la siguiente forma:

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Donde:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_i \end{bmatrix} \; X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1i} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{ni} \end{bmatrix} \; \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_i \end{bmatrix} \; \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \end{bmatrix}$$

Luego la ecuación matricial de los mínimos cuadrados está dada por:

$$(X'X)\hat{\beta} = X'Y$$

Así la solución de estas ecuaciones es la siguiente:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$$

- El modelo de regresión lineal múltiple estimado: Un coeficiente de regresión estimado, mide el cambio promedio en la variable dependiente debido a un incremento de una unidad en la variable predictora, manteniendo constantes las otras variables predictoras:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \ldots + \hat{\beta}_p X_p$$

- Inferencia de los parámetros del modelo: Si postulamos que las variables independientes no tienen relación con la variable dependiente, implica proponer las hipótesis siguientes:

Tabla 3. Criterios para realizar la prueba de hipótesis

Hipótesis	Estadística de prueba	Valores críticos	Reglas para rechazar H_0
$H_0: \beta_j = 0$ $H_1: \beta_j < 0$	$t_c = \frac{\hat{\beta}_j}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_j}}$	$t_{[n-(k+1);\, \alpha]}$	$t_c < t_{[n-(k+1);\, \alpha]}$
$H_0: \beta_j = 0$ $H_1: \beta_j > 0$		$t_{[n-(k+1);\, 1-\alpha]}$	$t_c > t_{[n-(k+1);\, 1-\alpha]}$
$H_0: \beta_j = 0$ $H_1: \beta_j \neq 0$		$t_{\left[n-(k+1);1-\frac{\alpha}{2}\right]}$	$\lvert t_c \rvert > t_{\left[n-(k+1);1-\frac{\alpha}{2}\right]}$

Nota: Criterios para realizar la prueba de hipótesis en la validación del modelo, tomado de "Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta", 2018, p. 315. (26)

Otra forma de hacer inferencias de los parámetros β_j es a través del uso de la estimación por intervalos de confianza, esto es:

$$P = \left(\hat{\beta}_j - t_{\left[n-(k+1);1-\frac{\alpha}{2}\right]}\widehat{\sigma}_{\hat{\beta}_j} \leq \beta_j \leq \hat{\beta}_j + t_{\left[n-(k+1);1-\frac{\alpha}{2}\right]}\widehat{\sigma}_{\hat{\beta}_j}\right) = 1 - \alpha$$

- Verificación de supuestos del mejor modelo
  - Normalidad de los errores (Prueba de Anderson Darling)

    H_0: Los errores tiene distribución normal

    H_1: Los errores no tienen distribución normal
  - No Autocorrelación de los errores (Prueba Durbin-Watson)

    H_0: No existe autocorrelación de errores

    H_1: Existe autocorrelación de errores
  - No multicolinealidad entre variables explicativas, se puede hacer uso del método del Valor de Inflación de Varianza (VIF):

    VIF = 1 → No hay multicolinealidad

    4 ≤ VIF ≤ 10 → Sospecha de multicolinealidad

    VIF > 10 → Problema de multicolinealidad
- Multicolinealidad

  Para detectar este problema se debe observar cuando:

- Existe correlaciones significativas entre las variables independientes del modelo.
- Existe incoherencia entre las pruebas individuales de los coeficientes de regresión (las pruebas t de los β_j) y la prueba de significación de modelo (la prueba F para los β_j).
- Se presentan signos observados opuestos a los esperados en los estimadores de los β_j.

En todo caso, la forma más directa es comprobar que la suma de los factores de Inflación de las variables (VIF) independientes no sea mayor que 10, es decir:

$$\sum_{k=1}^{k} VIF(X_i) \leq 10$$

- Idoneidad del modelo

Para probar la idoneidad del modelo de regresión lineal múltiple, se necesita de una prueba global que involucre todos los parámetros del modelo; así como una estadística que mida el ajuste del modelo propuesto a los datos observados.

- El coeficiente de determinación, esta estadística mide el grado de ajuste del modelo a los datos observados. Este coeficiente se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$r^2 = \frac{SS_{yy} - SSE}{SS_{yy}} = 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}}$$

- El coeficiente de determinación ajustado, Si bien es cierto r2 mide el grado de ajuste del modelo a los datos, sin embargo, este debe examinarse con mucho cuidado, porque es afectado por el número de variables independientes. Por ello, es importante obtener una medida que no sea distorsionada por el número de variables independientes. Esto es:

$$r^2_{adj} = 1 - \frac{(n-1)(1-r^2)}{n-(k+1)}$$

- Prueba de idoneidad general del modelo

Para evaluar la idoneidad se puede plantear la hipótesis siguiente:

H_0: Todos los coeficientes son iguales a cero

H_1: Al menos uno es diferente de cero

H_0: $\beta_0 = \beta_1 = \ldots = \beta_k = 0$

H_1: $\beta_j \neq 0$

Siendo la estadística de prueba, la siguiente expresión:

$$F = \frac{CMM}{CME} = \frac{SSM/k}{SSE/[n-(1+k)]}$$

O también se puede expresar:

$$F = \frac{CMM}{CME} = \frac{r^2/k}{(1-r^2)/[n-(1+k)]}$$

Así mismo, los demás datos se pueden obtener del siguiente cuadro:

Tabla 4. Criterios para contrastar la idoneidad del modelo

Cuadro de ANAVA			
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Del modelo	SMM	k	CMM
Del error	SSE	n - (1+k)	CME
Total	SSyy	n - 1	---

Nota: Criterios estadísticos para probar la idoneidad del modelo, tomado de "Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta", 2018, p. 31. (26)

Para aceptar o rechazar la hipótesis nula se debe considerar como valor crítico a un valor de la distribución F con k y n-(k+1) grados de libertad, asociados a la probabilidad α/2. Esto quiere decir que si $t_c > t_{[n-(k+1);\ 1-\alpha]}$ se rechaza la hipótesis nula.

2.5 Definición de términos

De las bases teóricas mencionadas anteriormente se procede a definir los siguientes términos, (20).

- ✓ **Advección:** “Mecanismo de transporte de un contaminante, originado por la velocidad del flujo” (20).
- ✓ **Agua cruda:** “Es aquella agua, en estado natural, captada para abastecimiento que no ha sido sometido a procesos de tratamiento” (20).
- ✓ **Agua tratada:** “Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano” (20).
- ✓ **Agua de consumo humano:** “Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal” (20).
- ✓ **Bacteria:** “Pequeño microorganismo unicelular, que se reproduce por la fusión de esporas” (20).
- ✓ **Control de calidad:** “Conjunto de medidas que, según una metodología de análisis de muestras, aseguran que el proceso se encuentra bajo control” (20)
- ✓ **Cloración:** “Proceso de purificación del agua en el que el cloro es añadido al agua para desinfectarla. También es usado en procesos de oxidación de productos impuros en el agua” (20).
- ✓ **Cloro libre:** “Cloro presente en forma de ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl) y cloro molecular disuelto” (20) .
- ✓ **Cloro residual:** “Cantidad total de cloro (cloro disponible libre o combinado) que queda en el agua después de un periodo de contacto definido” (20).
- ✓ **Cloro total:** “Concentración de cloro, tanto libre como combinado, que se mide tras un periodo de tiempo determinado en aguas sometidas a cloración” (20).

- ✓ **Concentración:** “Contenido de soluto en una disolución” (20).
- ✓ **Garantía de calidad:** “Plan definidor del funcionamiento del laboratorio que especifica las medidas utilizadas para producir datos de una precisión y un sesgo conocidos” (20).
- ✓ **Decaimiento:** “Proceso mediante el cual un constituyente o sustancia presenta variaciones en su concentración, producto de efectos mecánicos, temporales y químicos” (20).
- ✓ **Difusión:** “Mecanismo de transporte como el movimiento molecular que ocurre desde los puntos de alta hacia los de baja concentración, aun cuando el agua está en reposo” (20).
- ✓ **Dispersión:** “Mecanismo de transporte de los solutos como resultado de los gradientes de velocidad, presenta una mayor incidencia en flujos laminares” (20).
- ✓ **Dosis:** “La cantidad de una sustancia a la que se expone una red de distribución durante un periodo de tiempo. En general, cuanto mayor es la dosis, mayor es la probabilidad de un efecto nocivo o benéfico” (20).
- ✓ **Evaluación de calidad:** “Procedimiento para la determinación de la calidad de las medidas de laboratorio mediante el empleo de datos a partir de las medidas de control de calidad internas y externas” (20).
- ✓ **Mezcla de agua:** “Elementos, compuestos o ambos, que son mezclados con el agua durante un proceso de tratamiento de aguas” (20).
- ✓ **Muestra:** “Porción representativa de las condiciones naturales de un cuerpo de agua” (20).
- ✓ **Precisión:** “Medida del grado de concordancia entre análisis repetidos de una muestra, expresada normalmente como la desviación estándar” (20).

- ✓ **Parámetros organolépticos:** Estos parámetros vienen a ser un conjunto de parámetros fisicoquímicos y/o microbiológicos los cuales están presentes en el recurso hídrico y son percibidos por quienes lo consumen mediante la percepción sensorial (20).
- ✓ **Trihalometano:** "Compuesto generado por la oxidación de la materia orgánica en presencia de cloro" (20).

2.6 Modelo teórico conceptual

El esquema se estableció para poder definir la ruta que se seguirá para desarrollar la investigación de manera adecuada, inicialmente se realizó el reconocimiento de campo de lugar donde se realizó la investigación, en esta etapa se procedió a identificar la cantidad de viviendas que son beneficiarias de la red de distribución de agua potable, seguidamente se procedió a obtener los datos topográficos y catastrales del lugar; para proceder con el análisis se obtuvo una muestra de la población, en este paso se debe considerar que la población de estudio son las viviendas que están conectadas a la red de agua potable.

Ya establecida la muestra se ha aplicado un cuestionario en dicha muestra a fin de determinar el estado situacional de la red y registrar el cloro residual en las piletas de las viviendas; con dichos datos se procedió a realizar las gráficas estadísticas que permitirán determinar si la red cumple con la norma OS.050, en caso que se cumpla con los requisitos de la norma se procedió a realizar la simulación del cloro residual, caso contrario se realizó el diseño hidráulico de la red. Una vez que el diseño hidráulico cumple con el estándar de la norma OS.050 se procedió a realizar las simulaciones del cloro residual, en esta etapa el cloro residual debe cumplir con el estándar del reglamento de la calidad del agua para las horas de alto consumo, finalmente se procedió a realizar las pruebas de hipótesis. A fin de definir un procedimiento claro y conciso, se ha definido el siguiente esquema:

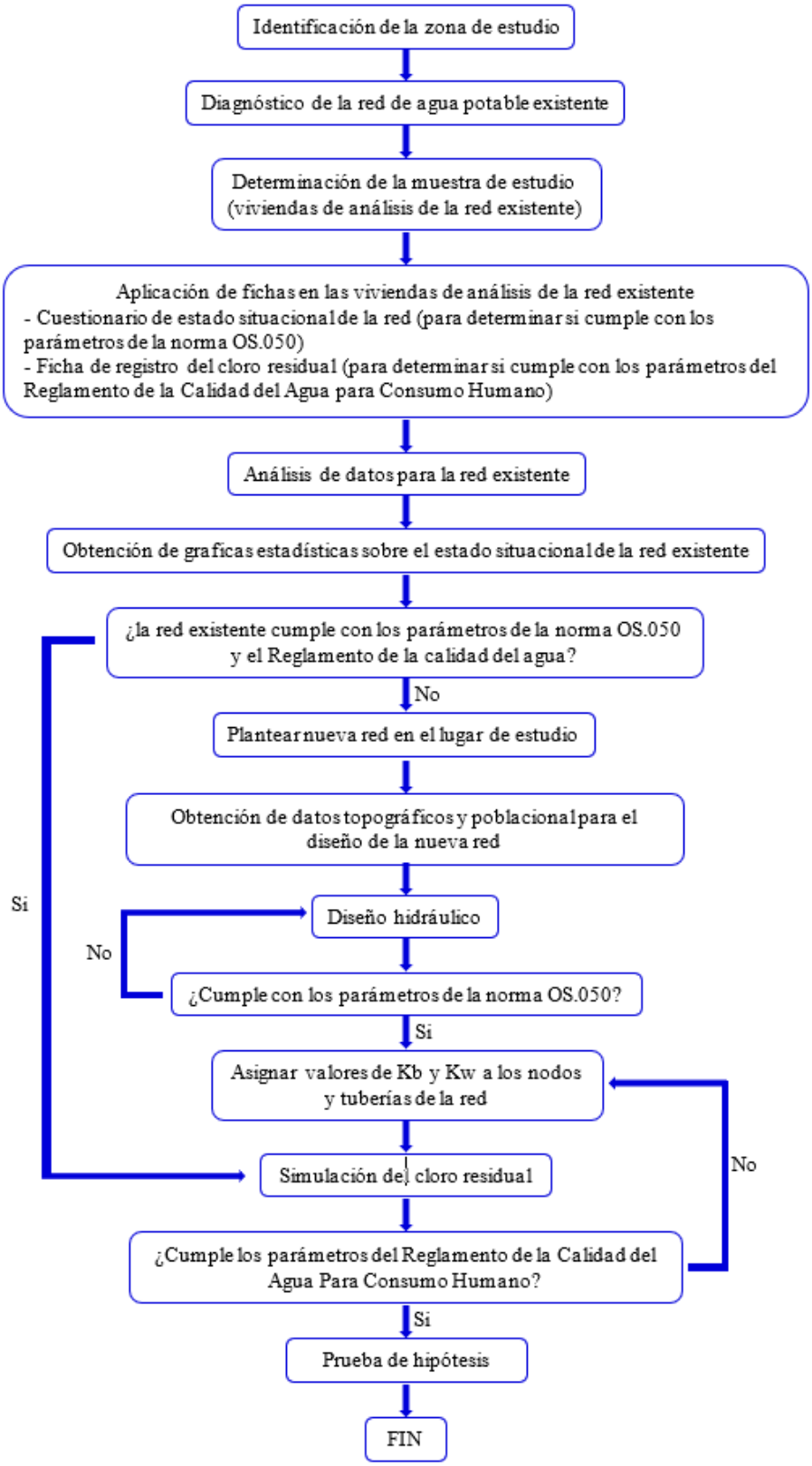


Gráfico 1. Modelo teórico - conceptual de la investigación

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método general o teórico de la investigación

La investigación científica se define como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos los cuales se aplican al estudio de un fenómeno, tienen las características de dinámica, sistemática, evolutiva y cambiante, por ende, una serie de características que permiten la obtención de nuevo conocimiento científico (27).

En la investigación se utiliza el método científico, ya que se recopilaron datos cuidadosamente autenticados, se buscó alguna relación en común entre estos hechos, se dedujo por los métodos tanto de la lógica formal como de la matemática, se sacaron conclusiones y se contrastaron con otras para verificar si estas conclusiones son correctas.

- ✓ Inicialmente se plantea el diseño y modelamiento hidráulico de la red de distribución de agua con el software WATERCAD, considerando que los valores de la presión y la velocidad del flujo se encuentren dentro del rango establecido por la normativa peruana OS.050.
- ✓ Se realiza la simulación del comportamiento del cloro con el software WATERCAD, considerando un valor promedio de los coeficientes Kb (coeficiente de reacción en el seno del agua) y Kw (coeficiente de reacción en las paredes de la tubería), estos valores provienen de la literatura científica respecto al tema de estudio, se debe recordar que en esta etapa mi persona asume un valor de la dosificación del cloro en el tanque de distribución de la red, de tal manera que el cloro residual libre en los nodos de la red cumplan con los valores del rango establecido por la norma peruana de calidad del agua.

3.1.1.1 Zona de estudio

El presente estudio se realizó en la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca del distrito de Huancavelica.

Figura 14. Zona de estudio de la comunidad campesina de Sacsamarca, imagen del software Google Earth, 2021 (Fuente: software Google Earth, 2021).

3.1.2 Método especifico de la investigación

3.1.2.1 Tipo de investigación

La investigación de tipo aplicada según Hernández, Fernández & Baptista (27), consiste en usar los conocimientos en la práctica misma, para resolver los problemas prácticos a fin de cubrir las necesidades de la sociedad, generalmente se basa en el estudio de los hechos o fenómenos a partir de investigaciones básicas con el fin de buscar nuevos conocimientos de aplicaciones prácticas.

El tipo de investigación del presente trabajo de investigación fue de tipo aplicada, puesto que este estudio no pretende crear nuevas normas, teorías o leyes, más aún al contrario hace uso de estas, para resolver problemas de interés social, de la misma manera en este estudio se aplicó la teoría y las ecuaciones existentes sobre el modelamiento del cloro, en la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, del distrito de Huancavelica.

3.1.2.2 Nivel de investigación

Según Hernández et. al (27), existen cuatro niveles de investigación:

- ✓ Nivel exploratorio: Cuyo objetivo de investigación es la búsqueda de nuevos conocimientos.
- ✓ Nivel descriptivo: Cuyo objetivo de investigación es la descripción de la variable de estudio, en este nivel se puede hacer uso del análisis estadístico univariado.

- ✓ Nivel correlacional: Cuyo objetivo de investigación es establecer si existe correlación entre dos variables, en este nivel se hace uso del análisis estadístico bivariado.
- ✓ Nivel explicativo: cuyo objetivo de investigación es determinar cuál es el grado o fuerza de correlación que existe entre variables independientes y variables dependientes (causa - efecto), en este nivel se hace uso del análisis estadístico multivariado.

El objetivo principal de esta investigación es determinar cuál es el grado de influencia de los coeficientes de reacción para el decaimiento del cloro (variables independientes) sobre el valor final del cloro residual (variable dependiente) en un nodo determinado de la red de distribución de agua potable; bajo esta premisa se considera que esta investigación se encuentra en el nivel explicativo.

Así mismo, se analizó la relación bivariada que existe entre Kb y cloro residual, de manera similar entre Kw y cloro residual (estas relaciones han sido debidamente fundamentadas bajo pruebas estadisticas), bajo esta premisa se considera que para las pruebas de hipótesis especificas la investigación se ubica en el nivel correlacional.

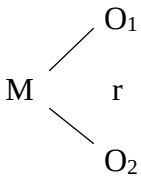
Finalmente se establece que la presente investigación se ubica en el nivel correlacional – explicativo.

3.1.2.3 Diseño de investigación

Según Hernández et. al (27), existen dos tipos de diseño de investigación, considerando la cantidad de veces que se mide la data:

- ✓ Diseño longitudinal: Los datos son medidos sobre la misma variable en distintos puntos de una línea de tiempo.
- ✓ Diseño transversal: Los datos son medidos una sola vez sobre la variable.

Como se mencionó anteriormente esta investigación pretende determinar cuál es el grado de influencia de los coeficientes de reacción para el decaimiento del cloro sobre el valor final del cloro residual en un nodo determinado de la red de distribución de agua potable, por lo que la investigación se encuentra en un diseño transversal descriptivo - correlacional, que tiene el siguiente esquema:



Donde:

M : Muestra.

O1 : variable dependiente

O2 : variable independiente

r : relación entre las dos variables

3.1.2.4 Tipo de diseño de investigación

El tipo de diseño de investigación transversal descriptivo - correlacional conforme a lo señalado por Hernández et. al (27), tiene por objetivo señalar la incidencia que tienen las variables independientes sobre la variable dependiente.

3.2 Variable de estudio

- **Variable independiente:** Coeficientes de reacción para el decaimiento del cloro.
  - Coeficiente de reacción con la masa del agua (Kb).
  - Coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw).
- **Variable dependiente: Cloro residual simulado en los nodos de la red.**

Así mismo, a partir de estas variables se ha realizado la siguiente definición operacional de variables:

Tabla 5. Definición operativa de la variable de estudio

DEFINICIÓN NOMINAL	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERATIVA	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICION
Variable de estudio.	Cloro residual simulado en los nodos de la red de distribución de agua.	Esta referido al remanente de cloro presente en el agua, después de que parte del cloro añadido al agua reaccione en el	cloro	El cloro es la sustancia más usada en el mundo como desinfectante para el agua de consumo humano.	mg/L (miligramos por litro).	Medidor de cloro residual (colorímetro).

	proceso de desinfección de esta.	Coeficiente de reacción con la masa del agua (Kb)	Coeficiente que depende de las reacciones que se producen dentro del fluido.	$día^{-1}$	Ecuación de velocidad de reacción.
		Coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw)	Coeficiente que depende de la reacción que se produce en la pared de la tubería y está influenciada por el contacto del fluido con el área de pared disponible para la reacción.	$m/m^2/día$	Ecuación de velocidad de reacción.

Nota: Se identifica y define las variables de estudio para la investigación (Fuente: elaboración propia)

3.3 Cobertura del estudio

3.3.1 Universo

De acuerdo con Hernández (28), el universo se refiere a la cantidad total de individuos, personas, objetos, fenómenos, etc. que incluyen a la población de estudio; en el presente estudio el universo se refiere a los sistemas de redes de distribución de agua para consumo humano, y en el que comúnmente se analiza el comportamiento del cloro.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población de estudio se define como la totalidad de fenómeno a estudiar, generalmente las unidades poseen características en común, estas al ser estudiadas dan origen a los datos de la investigación (26).

En este estudio se establece que la población viene a ser los nodos de la red de distribución de agua potable de la comunidad campesina de Sacsamarca, esto se traduce en la cantidad de piletas que están conectadas a la red, es decir la cantidad de viviendas, puesto que existe una pileta para cada vivienda, por ende, en este grupo se analizó el comportamiento del cloro.

3.4.2 Muestra

La muestra viene a ser un subgrupo de la población de donde se recolectan los datos, por lo que este grupo debe ser representativo de la población (28).

La muestra para esta investigación está referida a la cantidad de nodos en la red (pileta conectada a la red para cada vivienda), donde se observará la concentración del cloro residual libre, esta muestra ha sido calculada en el ítem 4.1.1.

3.4.3 Muestreo

Según Hernández et. al (27), menciona que existen dos tipos de muestreos, basado en el criterio de cómo se elijan los elementos de la muestra:

- ✓ Muestreo probabilístico: Todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo/análisis.
- ✓ Muestreos no probabilísticos: La elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación.

Considerando el esquema planteado del modelo teórico conceptual en el ítem 2.6, en una primera etapa se analizó el estado situacional del cloro residual en un grupo de nodos de la red existente, es decir se registró (mediante ficha de registro) cuales eran los valores del cloro residual en los nodos in situ (un nodo se interpreta físicamente como una pileta existente dentro de una vivienda), estos nodos que conforman una muestra han sido elegidos aleatoriamente (muestreo aleatorio simple); el análisis estadístico de este grupo de nodos es para contrastar la hipótesis

especifica 1 (véase la matriz de consistencia). De la prueba de hipótesis se concluyó que la red no cumple con los parámetros de la norma OS.050 y del “Reglamento de la calidad del agua para consumo humano”.

En una segunda etapa, considerando el esquema del modelo teórico conceptual del ítem 2.6, se procedió a plantear teóricamente una nueva red de distribución de agua que cumpla con los estándares de la norma OS.050 y del “Reglamento de la calidad del agua para consumo humano”, se ha realizado este procedimiento debido a que no se puede simular el cloro residual sobre una red que no cumpla dichos estándares, ya que los valores del cloro residual arrojados serian erróneos (considerando que según la teoría Kb y Kw dependen de la cantidad de masa de agua y de la rugosidad de la tubería). Una vez definida esta nueva red se procedió a analizar el comportamiento que tienen Kb y Kw sobre el cloro residual en un determinado nodo, este nodo a sido elegido aleatoriamente del total de nodos que conforman la red. Esta etapa es necesaria para poder contrastar la hipótesis general, hipótesis especifica 2 e hipótesis especifica 3 (véase la matriz de consistencia).

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica de la observación se emplea para la recolección de información por medio de la percepción de los sentidos, generalmente esta técnica es aplicada a casi todas las investigaciones tanto cualitativas como cuantitativas ya que ayuda en la obtención de datos por medio de la percepción directa, mientras que, la encuesta como técnica de investigación se caracteriza por utilizar una serie de procedimientos estandarizados, a partir de cuya aplicación se recogen, procesan y analizan un conjunto de datos de una muestra estimada como representativa de una población o universo mayor, al cual se extrapolarán los resultados que de ella se obtengan (29).

En la presente investigación se ha utilizado diversas técnicas de recolección de datos según a las dos etapas en concordancia al esquema planteado en el modelo teórico conceptual.

Primera etapa, cuyo objetivo fue corroborar si dicha red cumple con los estándares de la norma OS.050 y el reglamento de calidad de agua para consumo humano), las técnicas usadas fueron:

- Técnica de la encuesta: Se aplicó con objetivo de determinar si la red existente cumple con los estándares de la norma OS.050, estos datos han sido procesados en el capítulo de RESULTADOS, se han utilizado procedimientos estadísticos univariados (no presenta hipótesis) y sus resultados gráficos son útiles para respaldar que la red existente no cumple con los estándares de la normativa OS.050.
- Técnica de la observación: Se aplicó con el objetivo de determinar si el cloro residual registrado en los nodos (muestra de nodos) de la red existente cumplen con los parámetros del reglamento de la calidad del agua para consumo humano, estos datos han sido procesados en el capítulo de RESULTADOS, se han utilizado procedimientos estadísticos bivariados, por lo que presenta hipótesis (véase contraste de hipótesis especifica 1 de la matriz de consistencia), sus resultados son útiles para corroborar que la red existente no cumple con los estándares del reglamento de calidad el agua para consumo humano.

Considerando que la red existente no cumple con los estándares de las normativas, no se puede realizar la simulación del cloro residual en la red, ya que el software arrojaría valores erróneos del cloro residual en los nodos de la red. La segunda etapa consistió en platear una nueva red de distribución de agua potable que cumpla con los estándares de la normativa, en esta segunda etapa se procedió a realizar la simulación del cloro residual en la nueva red de distribución de agua potable, la técnica usada fue:

- Técnica de la observación: Se aplico con el fin de identificar los valores del cloro residual calculados con el software WaterCAD en todos los nodos de la nueva red de distribución, estos valores son registrados en una hoja de Excel, asimismo, estos datos han sido procesados en el capítulo de RESULTADOS, se han utilizado procedimientos estadísticos bivariados (véase contraste de hipótesis específica 2 y 3 de la matriz de consistencia) y multivariados (véase contraste de hipótesis general de la matriz de consistencia).

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos.

Según Hernández et. al (27), un cuestionario se define como un instrumento de investigación que consiste en un conjunto de preguntas u otros tipos de indicaciones con el objetivo de recopilar información de un encuestado, mientras que las fichas de registro son instrumentos prediseñados donde vienen diseñados los aspectos a observar. Ya se ha mencionado que en esta investigación se realizaron dos etapas, la primera etapa comprende el diagnóstico de la red existente:

- Se aplicó la técnica de la encuesta y se usó como instrumento de recolección de datos una ficha tipo cuestionario (ver ANEXO 02) a fin de determinar si la red existente cumple con los estándares de la norma OS.050.
- Se aplicó la técnica de la observación, y se usó como instrumento de recolección de datos una ficha de registro del cloro residual en un grupo de nodos (muestra) haciendo uso de un colorímetro DPD (ver ANEXO 03).

Debido a que en la primera etapa se determinó que la red existente en el lugar no cumple con los estándares de la normativa, la segunda etapa comprende el planteamiento de una nueva red de distribución que si cumpla con los parámetros de las normativas:

- Planteada la nueva red de distribución, se procedió a calcular los valores del cloro residual en todos los nodos de la nueva red mediante el software WaterCAD, se aplicó la técnica de la observación, y se usó como instrumento de recolección de datos una ficha de registro el cloro residual, estos datos fueron transcritos a un formato de hoja de Excel (ver ANEXO 06).

3.6 Procedimiento de investigación

Se debe tener en consideración que, para realizar una adecuada simulación del cloro residual sobre una determinada red, dicha red debe cumplir con los estándares de la norma OS.050 y del Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Para llevar a cabo el adecuado desarrollo de la presente investigación se desarrolló un esquema del modelo teórico conceptual presentado en el ítem 2.6, a continuación, se detallan los procedimientos:

- Inicialmente se procedió a la identificación de la zona de estudio, a fin de determinar el diagnóstico de la red de agua potable existente, en este

procedimiento se aplicó un cuestionario a un grupo de viviendas (muestra) que permitieron determinar si la red existente cumple con los estándares de la norma OS.050, así mismo se aplicó una ficha de registro de cloro residual en las piletas (nodos) del grupo de viviendas anterior, estos datos permitirán determinar si la red cumple con los parámetros del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

- Teniendo ya los datos del anterior procedimiento, se procedió a aplicar procedimientos estadísticos, en el caso del cuestionario (encuesta a los integrantes de la vivienda) se aplicó procedimientos univariados, permitiéndonos concluir que la red no cumple con la norma OS.050; mientras que para procesar la ficha de registro del cloro residual, se aplicó procedimientos bivariados permitiéndonos concluir que los valores del cloro residual registrado en las piletas de las viviendas no cumple con el reglamento de la calidad del agua (véase hipótesis especifica 1 en la matriz de consistencia).
- En el paso anterior se determinó que la red de agua potable existente no cumple con los estándares de la norma OS.050 y del Reglamento para la calidad del agua, por lo que, se procedió a plantear una nueva red de agua potable que si cumpla con los estándares de las normativas. Para el diseño de esta nueva red fue necesario recoger datos topográficos y poblacional.
- Al finalizar el diseño de la nueva red, se corroboro que esta cumpla con los parámetros de las normativas. Se debe tener en consideración que la simulación del cloro residual solo es factible si la red de agua potable cumple con los estándares de la normativa, puesto que, si la red no cumple con dichos estándares se podría incurrir en un error al momento de obtener los valores del cloro residual en los nodos de la red (se debe interpretar que un nodo representa una pileta en una vivienda).
- Se procedió a observar el comportamiento que tienen las variables independientes Kb y Kw sobre el cloro residual (variable dependiente). Este procedimiento nos permitirá contrastar la hipótesis general, hipótesis especifica 2 e hipótesis especifica 3 (véase la matriz de consistencia). Se debe tener presente que los valores del cloro residual son calculados con el software WaterCAD; por ejemplo, para analizar el comportamiento de Kb

sobre el cloro residual, se asume un valor numérico de Kb y se realiza la simulación con el software WaterCAD, el software nos arrojara valores del cloro residual en todos los nodos de la red (estos valores se representan un rango de análisis de 24 horas). Recuerde que Kb tiene un rango de valores que dependerá del tipo de fluido que circula dentro de la tubería, por ejemplo, si el fluido es agua, Kb suele encontrarse en el rango de valores -1.5/día < Kb < -0.1/día, el signo negativo indica que existe un decaimiento del cloro al momento en que el cloro reacciona con la masa de agua. De manera similar se realizó el análisis para observar el comportamiento de Kw sobre el cloro residual, solo que en este caso Kw tiene un rango de valores que dependerá del tipo de material de la tubería, por ejemplo, para tuberías de Policloruro de Vinilo comúnmente llamados tuberías de PVC, Kw suele encontrarse en el rango de valores -1.52 m/día < Kw < -0.06 m/día, el signo negativo indica que existe un decaimiento del cloro, al momento en que el cloro reacciona con la pared de la tubería. Estos dos casos de análisis de Kb y Kw se realizaron de manera independiente, es decir, cuando se analiza Kb y su influencia sobre el cloro residual, no se toma en consideración los valores de Kw; mientras que, si se analiza Kw y su influencia sobre el cloro residual, no se toma en consideración los valores de Kb. Estos resultados con útiles para contrastar las hipótesis especificas 2 y 3 (véase la matriz de consistencia); sin embargo, para contrastar la hipótesis general es necesario que se haga variar simultáneamente los valores de Kb y Kw, es decir, que cuando Kb y Kw asumen determinados valores (dentro de sus respectivos rangos) y se realiza la simulación con el software WaterCAD, el software nos arrojara valores del cloro residual en todos los nodos de la red que han sido calculados teniendo en consideración durante su complejo proceso de cálculo los valores asumidos de Kb y Kw.

- Para la contrastación de las hipótesis 2 y 3 se hizo uso de pruebas estadísticas bivariados, mientras que para contrastar la hipótesis general se hizo de una prueba estadística multivariada (regresión lineal múltiple), todo el procedimiento ha sido detallado en el capítulo de RESULTADOS.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Organización, presentación y análisis de resultados

Para poder obtener unos resultados detallados y en conformidad con los objetivos de la investigación, se ha seguido la secuencia de etapas definido en el esquema del modelo teórico conceptual del ítem 2.6 y explicado detalladamente en el titulo denominado "Procedimiento de investigación" del ítem 3.6:

- ✓ Reconocimiento del lugar de estudio
- ✓ Diagnóstico del sistema existente, y poder corroborar si dicha red cumple con los estándares de la normativa peruana (considere que la simulación del cloro residual es válida si la red cumple con dichas normativas). Para determinar si la red cumple con la norma OS.050 se aplicó una encuesta y su tratamiento de datos fue mediante procedimientos estadísticos univariados; mientras que para determinar si la red cumple con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano se aplicó una ficha de registro de cloro residual en las piletas de las viviendas, en ambos casos se aplicaron las fichas a un mismo grupo de viviendas que representan una muestra de la población, así mismo estos datos son válidos para contrastar la hipótesis especifica 1.
- ✓ El paso anterior permite contrastar que la red existente no cumple con los estándares de las normativas, por lo que se procedió a plantear una nueva red, sobre esta nueva red se procedió a realizar la simulación del cloro residual, este procedimiento permitirá contrastar la hipótesis general e hipótesis especifica 1 y 2.

4.1.1 Estado situacional del sistema de abastecimiento y de la calidad del agua

Para poder determinar el estado situacional del sistema de abastecimiento de agua potable y de la calidad del agua que consume la población de la comunidad campesina de Sacsamarca del distrito de Huancavelica, se ha realizado una encuesta según el formato de ficha del ANEXO 01; así mismo, se ha identificado que, después de haber realizado el reconocimiento de la zona de estudio y haber accedido al padrón de la comunidad, se determinó que existen 147 viviendas, que son equivalentes a 521 habitantes.

Figura 15. Encuesta realizada en la comunidad campesina de Sacsamarca

Para poder determinar la cantidad de viviendas que se encuestaron, se ha procedido a extraer una muestra según al procedimiento establecido por Hernández et al. (2014) mediante la siguiente expresión matemática:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N-1) + (Z^2 * p * q)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

e = Límite aceptable de error muestral, su valor varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09)

p = Es la variación positiva o la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio, toma un valor

entre 0 y 1. Cuando no se conoce generalmente se le da el valor de 0,5.

q = Variación negativa o proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir q = 1- p

Z = Constante que depende del nivel de confianza que asignemos y corresponde a una distribución normal o de Gauss.

Tabla 6. Factores del nivel de confianza, para el cálculo del tamaño de la muestra

Z	1,28	1,44	1,65	1,96	2,17	2,24	2,33	2,58
Nivel de confianza	80%	85%	90%	95%	97%	97,5%	98%	99%

Nota: Valores establecidos para el nivel de confianza en el cálculo del tamaño de la muestra, tomado de "Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta" (Hernández, Roberto y Mendoza, Christian Paulina, 2018, p. 201).

Para aplicar la formula a nuestro caso de estudio se identificó los siguientes datos:

N = En este estudio la población está referido a la cantidad de viviendas de la comunidad campesina de Sacsamarca, por lo que su valor es de 147.

e = Límite aceptable de error muestral, considerare un valor del 9% (0,09)

p = Considerare un valor de 0,5.

q = Variación negativa o proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir q = 1- p, como el valor de p = 0,5, se tiene que q = 0,5

Z = Considerare un nivel de confianza del 90 % por lo que su valor según a la anterior tabla es de 1,65.

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$n = \frac{147(1{,}65)^2(0{,}5)(0{,}5)}{(0{,}09^2)(147-1)+(1{,}65)^2(0{,}5)(0{,}5)}$$

$$n = 53{,}69 \cong 54\ viviendas$$

Seguidamente, con el fin de establecer cuáles serán las viviendas encuestadas que formaran parte de la muestra, se ha procedido a usar la técnica del muestreo probabilístico aleatorio simple (Hernández et al., 2014), debido a que cada vivienda que formara parte de la muestra tiene la misma probabilidad de ser elegida, la elección aleatoria de los elementos está determinada por el método del sorteo (Hernández et al., 2014); en este punto, lo que ha hecho es, asignar cada vivienda un boleto con un numero correlativo, estos boletos son introducidos en una urna y fueron extraídos hasta alcanzar el tamaño de la muestra, es decir se extrajeron 54 boletos equivalentes a 54 viviendas.

Figura 16. Vista panorámica de las viviendas encuestadas

Producto de la encuesta realizada, se ha determinado las siguientes graficas estadísticas:

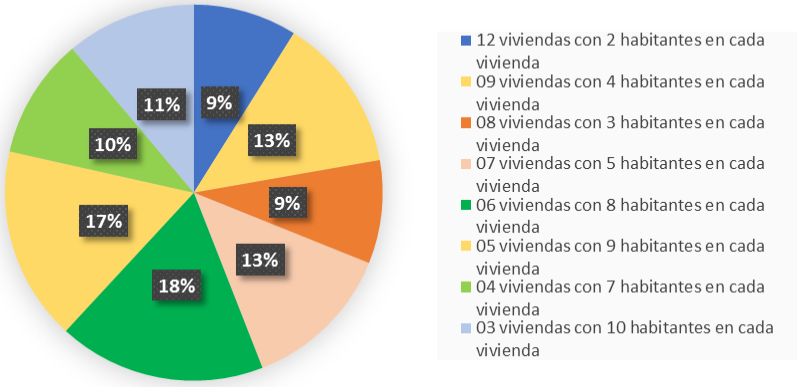


Gráfico 2. Cantidad de habitantes registrados mediante encuesta

La figura 17 indica que se han encuestado 54 viviendas, haciendo un total de 270 registrados; así mismo los colores de la gráfica indican la cantidad de viviendas que tienen un número determinado de habitantes, por ejemplo, el color anaranjado correspondiente al 9% indica que existen 8 viviendas encuestadas y que en cada vivienda existe 3 habitantes, acumulando para estas 8 viviendas un total de 24 habitantes, y que esta cantidad representa el 9% del total de habitantes registrados. La interpretación es similar para el resto de colores que conforma la gráfica de pastel.

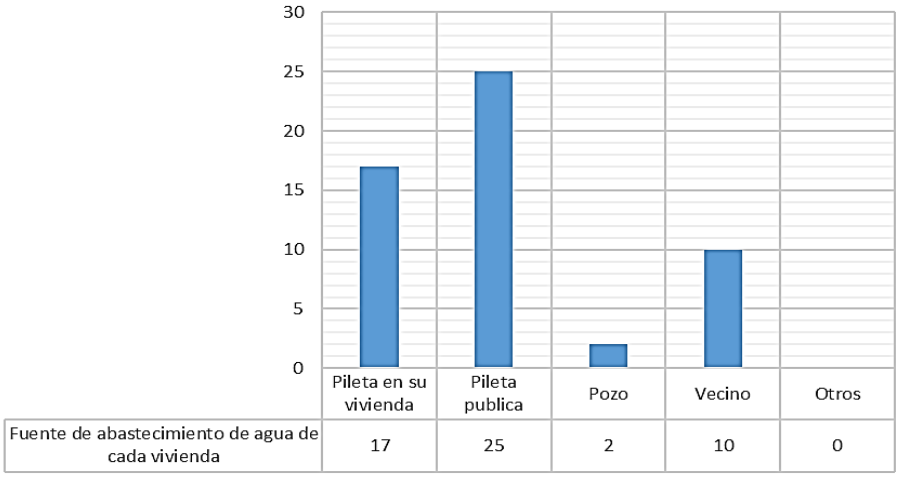


Gráfico 3. Fuente de abastecimiento de agua de cada vivienda

La figura 18 indica que, de las 54 viviendas encuestadas, 17 viviendas poseen piletas instaladas en sus viviendas, mientras que 25 viviendas se abastecen de piletas públicas, de manera similar se observa que 10 viviendas se abastecen de piletas del vecino y finalmente existen 2 viviendas que se

abastecen de un pozo ubicado en la zona, esta dos últimas viviendas se encuentran en los márgenes de la comunidad.

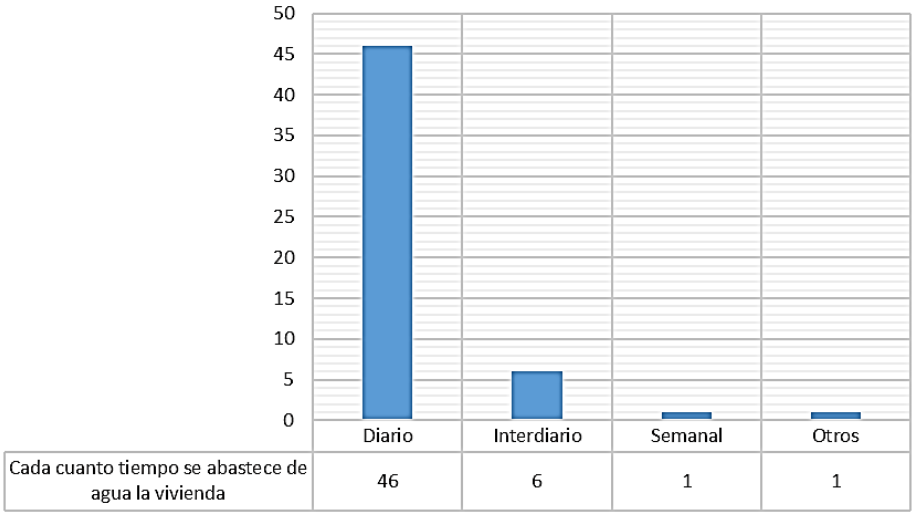


Gráfico 4. Cada cuanto tiempo se abastece de agua cada vivienda

Según la figura 19, se puede observar que la gran mayoría de viviendas se abastece diariamente de agua, sin embargo, existen 6 viviendas que se abastecen de manera interdeciría, esto debido a que no poseen una pileta en sus respectivas viviendas y se encuentran relativamente lejos de la pileta publica; las 2 viviendas que se abastecen según la categoría de manera “semanal” y “otros” son aquellas que se encuentran en los márgenes de la comunidad.

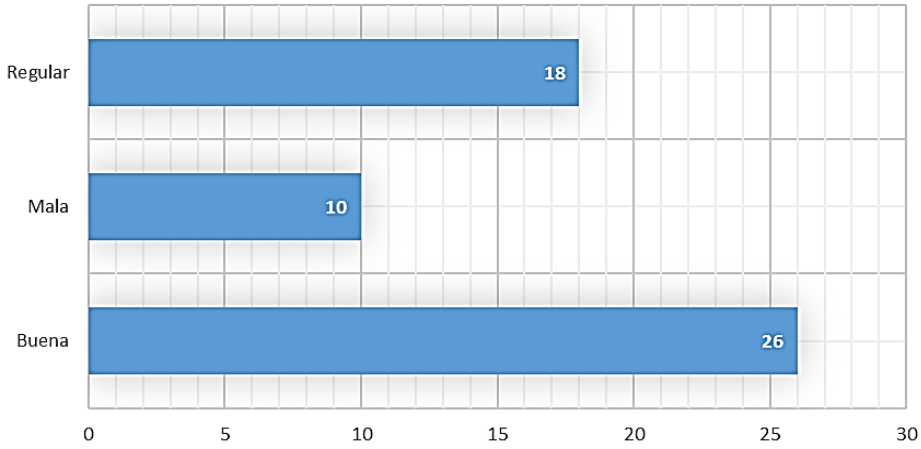


Gráfico 5. Cómo considera la calidad del agua que recibe

Según la figura 20, la mayoría de viviendas encuestadas consideran que la calidad del agua es buena, sin embargo 18 viviendas consideran que el

agua es de calidad media, mientras que 10 viviendas perciben que la calidad del agua consumida es mala.

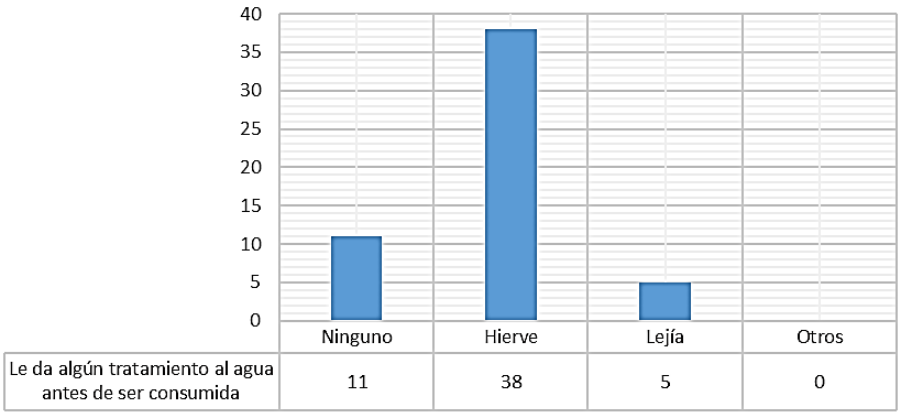


Gráfico 6. Le da algún tratamiento al agua antes de ser consumida

Se acuerdo a la figura 21, existen 38 viviendas hierven el agua antes de ser consumida, mientras que 11 viviendas no le dan ningún tratamiento al agua, y solo 5 viviendas vierten lejía al agua para su respectivo consumo.

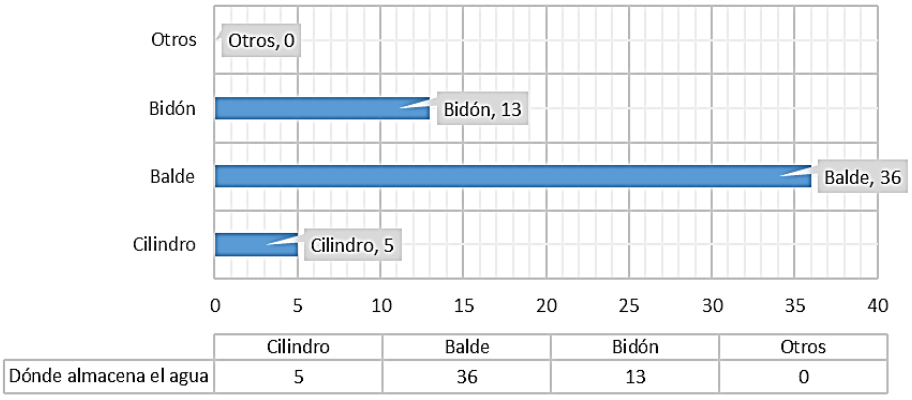


Gráfico 7. Dónde almacena el agua

Según a la figura 22, de las viviendas encuestadas, se observa que 36 viviendas almacenan el agua en baldes, mientras que solo 13 viviendas la almacenan en bidones, sin embargo, existe 5 viviendas que almacenan el agua en cilindros lo cual representa una disminución a la calidad del agua, debido a que el metal tiende a soltar oxido durante el almacenamiento del agua.

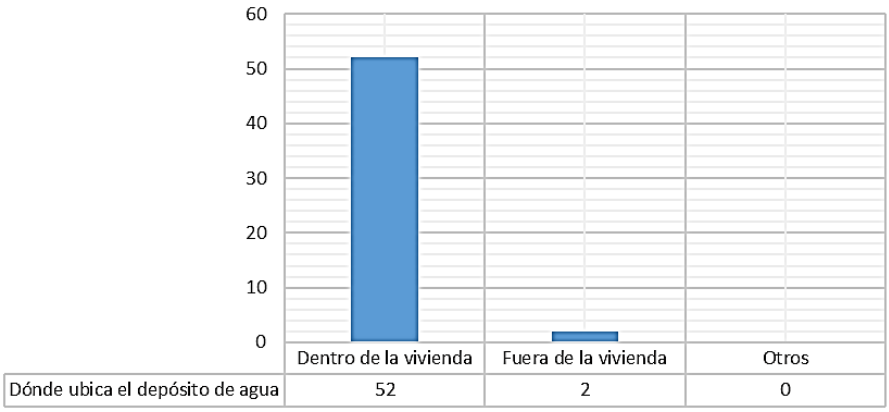


Gráfico 8. Dónde ubica el depósito de agua

De la figura 23, se puede observar que la mayoría de viviendas ubica sus depósitos de agua dentro de su respectiva vivienda, mientras que solo 2 viviendas ubican su depósito fuera de la vivienda, esto debido simplemente a la falta de espacio.

Gráfico 9. Viviendas que le dan mantenimiento a sus depósitos de agua

De acuerdo con la figura 24, 41 viviendas no le dan mantenimiento a sus depósitos de agua, lo cual supone una disminución considerable en la calidad de agua para consumo humano, mientras que solo 13 viviendas si les dan mantenimiento a sus depósitos de agua.

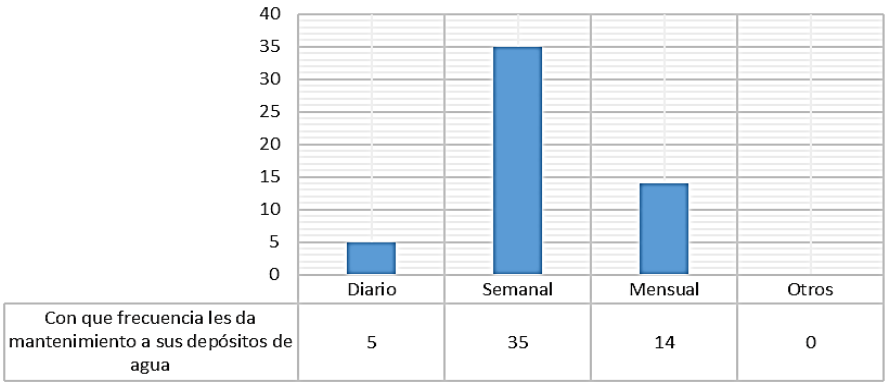


Gráfico 10. Con qué frecuencia les da mantenimiento a sus depósitos de agua

De acuerdo con la figura 25, solo 5 viviendas le dan un mantenimiento diario a sus depósitos de agua, lo cual representa una buena costumbre higiénica; así mismo, se observa que 35 viviendas le dan un manteniendo semanal a sus depósitos de agua, por lo que higiénicamente es aceptable, sin embargo 14 viviendas le otorgan un mantenimiento mensualmente, lo cual representa una falta de costumbre y educación higiénica.

4.1.2 Topografía y configuración del sistema de abastecimiento de agua

Para la determinación de la topografía, se acceso al repositorio de imágenes satelitales del “Instituto Tecnológico de California”, alojados en el “United States Geological Survey” de estados unidos bajo la descripción de “ASTER Global Digital Elevation Map Announcement”, o conocido comúnmente como ASTER GDEM; el procesamiento de estos datos se realizó con el software Global Mapper, para finalmente obtener un modelo digital de elevaciones según a la siguiente Figura 17:

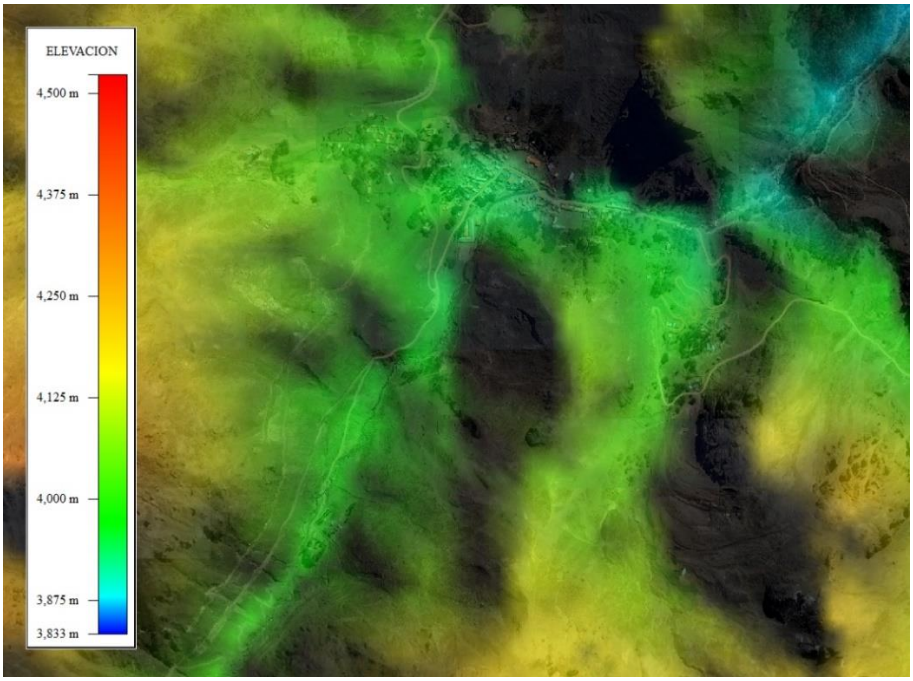


Figura 17. Modelo digital de elevaciones para la comunidad campesina de Sacsamarca, la coloración indica la altitud del relieve del terreno

Seguidamente, a partir del procesamiento del modelo digital de elevaciones se obtuvo las curvas de nivel para la zona de estudio (para mayor detalle se puede observar el ANEXO 02):

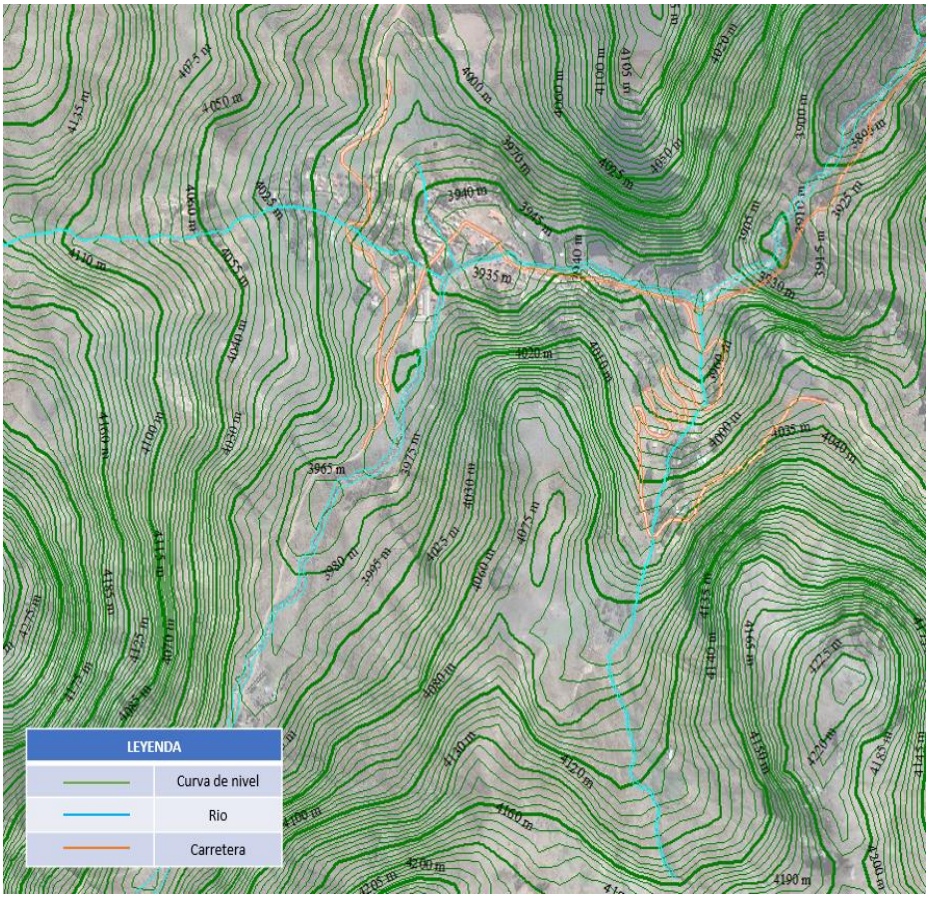


Figura 18. Curvas de nivel para la zona de estudio

Finalmente, para poder establecer la configuración de la red de abastecimiento de agua potable, se ha procedido a determinar gráficamente la cantidad de lotes de viviendas; en este punto se debe mencionar que los lotes identificados en alguno de los casos no se encuentran habitadas, pero que sin embargo el lote de vivienda está debidamente limitado. En esta esta etapa lo que se presente es proyectar el esquema de la red de abastecimiento de agua, por lo que la red proyectada contemplara los lotes no habitados, pues se tiene en consideración que estos lotes de terreno serán habitados en un futuro.

Figura 19. Lotes de viviendas identificados

Una vez identificada los lotes de viviendas se ha procedido a realizar la esquematización la red de abastecimiento de agua potable (para mayor detalle ver el ANEXO 02); para poder esquematizar adecuadamente dicha red se ha identificado dos fuentes de captación:

- ✓ Fuente de captación Occocucho, esta captación es de fuente tipo manantial, con coordenadas UTM por el este 501132,576 y por el norte 8584152,37, así mismo, su cota de elevación es de 4128,600 m.s.n.m.
- ✓ Fuente de captación Ñahuincucho, esta captación es de fuente tipo manantial, con coordenadas UTM por el este 499673,155 y por el norte 8584865,202, así mismo, su cota de elevación es de 4255,00 m.s.n.m.

A partir de estas dos fuentes de capitación, se ha procedido a esquematizar la red de tuberías y los nodos de la red, según a la siguiente figura:

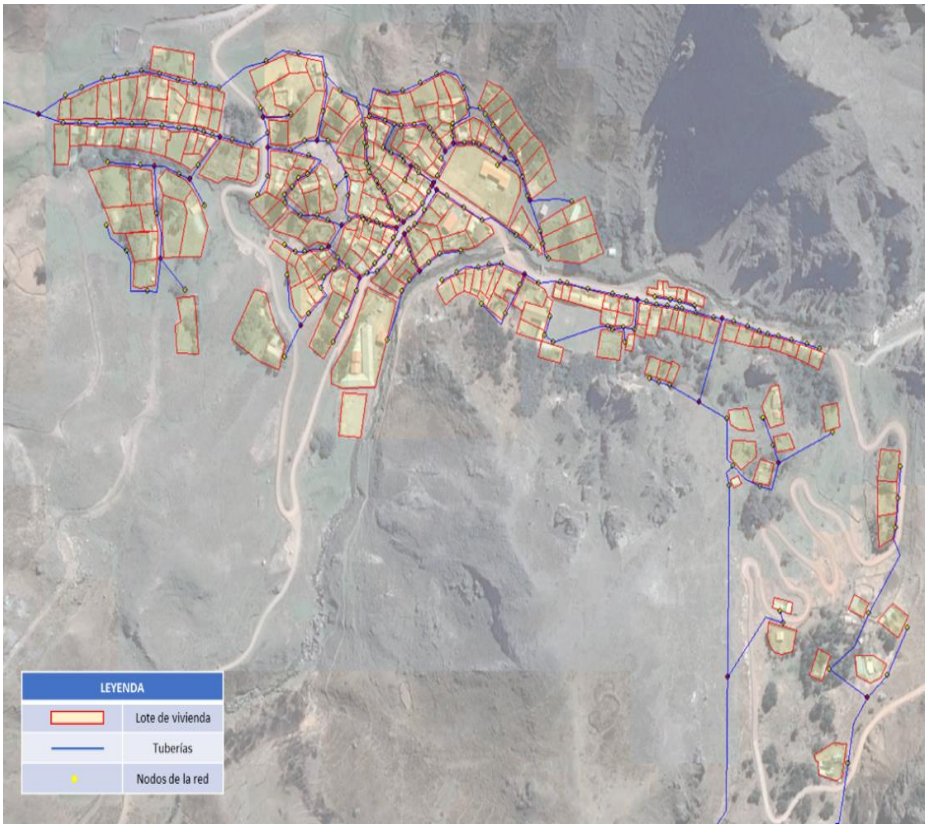


Figura 20. Esquematización de la red de distribución de agua potable

4.1.3 Modelamiento y simulación hidráulica de la red de agua

Los datos necesarios para realizar el modelamiento hidráulico se detallan a continuación:

4.1.3.1 Población de diseño y demanda de agua en los nodos de la red

Para calcular la demanda de agua en los nodos de la red, se ha seguido las recomendaciones establecida por la "Guía de Opciones Tecnológicas para Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y Saneamiento en el Ámbito Rural" del "Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú" (2016), el procedimiento seguido es el siguiente:

- ✓ Elección del periodo de diseño máximo recomendable para sistemas de abastecimiento de agua:

Tabla 7. Periodo de diseño para estructuras hidráulicas

Fuente de abastecimiento	20 años
Obras de captación	20 años
Pozos	20 años
Planta de tratamiento de agua para consumo humano	20 años
Reservorio	20 años
Tuberías de conducción, impulsión y distribución	20 años
Estación de bombeo	20 años

Nota: Periodos de diseño establecidos para distintas estructuras hidráulicas, tomado de "Dosis de cloro y cloro residual libre en el sistema de agua potable en el sector Puyhúan Grande del distrito y provincia de Huancavelica", PÉREZ-CHANCA, Roli y RAMOS-CASTELLANOS, Gisela, 2018, p. 55.

Para este estudio el periodo de diseño es de 20 años, pues corresponde a redes de tuberías.

- ✓ Índice de crecimiento poblacional anual, se obtuvo a partir del siguiente cuadro obtenido del "Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú" (INEI):

Tabla 8. Índices de crecimiento población para los departamentos del Perú

DEPARTAMENTOS	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
PERU	1.7	1.6	1.5	1.3
COSTA				
Callao	2.6	2.3	2.1	1.8
Ica	1.7	1.5	1.3	1.2
La Libertad	1.8	1.7	1.5	1.3
Lambayeque	2.0	1.9	1.7	1.5
Lima	1.9	1.7	1.5	1.3
Moquegua	1.7	1.6	1.4	1.3
Piura	1.3	1.2	1.1	0.9
Tacna	3.0	2.7	2.4	2.1
Tumbes	2.8	2.6	2.3	2.0
SIERRA				
Ancash	1.0	0.9	0.8	0.7
Apurimac	0.9	1.0	1.0	1.0
Arequipa	1.8	1.7	1.5	1.3
Ayacucho	0.1	0.3	0.4	0.4
Cajamarca	1.2	1.2	1.1	0.9
Cusco	1.2	1.2	1.1	1.0
Huancavelica	0.9	1.0	0.9	0.9
Huánuco	2.0	1.8	1.7	1.6
Junín	1.2	1.2	1.0	0.9
Pasco	0.4	0.6	0.5	0.4
Puno	1.2	1.2	1.1	1.0
SELVA				
Amazonas	1.9	1.8	1.7	1.5
Loreto	2.5	2.2	2.0	1.9
Madre de Dios	3.3	2.9	2.6	2.3
San Martín	3.7	3.3	2.9	2.6
Ucayali	3.7	3.3	2.9	2.5

Nota: Tabla de valores de los índices de crecimiento poblacional para las distintas regiones del Perú, tomado de "Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo - Santiago de Chuco", por INCA-LUJÁN, Heyner Alex y ULLOA-FLORES, Silvana Ivon, 2019, p. 68.

De esta tabla anterior, se puede observar que la tasa de crecimiento poblacional para el departamento de Huancavelica es del 0,9%.

- ✓ Determinación de la población de diseño, según a la siguiente expresión:

$$P_d = P_i\left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

Donde:

P_d = Población de diseño (habitantes)

P_i = Población inicial (habitantes)

r = Índice de crecimiento poblacional anual (%)

t = Periodo de diseño (años)

Para la determinación de la población de diseño, se ha accedido al padrón de la comunidad, de donde se estimó que existen 147 viviendas, que son equivalente a 521 habitantes; por lo que la población actual es de 521 habitantes. El periodo de diseño se establece a partir de la tabla 5, de donde se observa que para "Tuberías de conducción, impulsión y distribución" es de 20 años. Finalmente, el índice de crecimiento poblacional para el departamento de Huancavelica según a la tabla 6, es de 0,9%; reemplazando estos datos en la fórmula de población de diseño, se tiene:

$$P_d = 521\left(1 + \frac{0{,}9 * 20}{100}\right) = 615\ habitantes$$

- ✓ Dotaciones sugeridas, según a la región geográfica del Perú:

Tabla 9. Dotaciones de agua para consumo domestico

	Consumo de agua doméstico	
Región geográfica	Sin arrastre hidráulico	Con arrastre hidráulico
Costa	50 a 60 l/h/d	90 l/h/d
Sierra	40 a 50 l/h/d	80 l/h/d
Selva	60 a 70 l/h/d	100 l/h/d

Nota: Valores de las dotaciones de agua para consumo humano según a la región geográfica del Perú, tomado de "Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo - Santiago de Chuco", por INCA-LUJÁN, Heyner Alex y ULLOA-FLORES, Silvana Ivon, 2019, p. 70.

Considerando que el lugar de estudio se encuentra en la región geográfica de la sierra, y que el sistema usara arrastre hidráulico (es decir el agua fluirá por acción de la gravedad), según a la tabla 7, la dotación será de 80l/h/d.

- ✓ Cálculo del consumo máximo diario y consumo máximo horario, inicialmente se calculó el caudal medio según a la siguiente expresión:

$$Q_p[l/s] = \frac{Dotacion\left[\frac{l}{hab\ dia}\right] \times Poblacion_{diseño}[hab]}{86400}$$

Reemplazando se tiene:

$$Q_p = \frac{80 \times 615}{86400} = 0{,}57\ l/s$$

El cálculo del consumo máximo diario, es según a la siguiente expresión:

$$Q_{md}[l/s] = 1{,}3 \times Q_p[l/s]$$

Reemplazando se tiene:

$$Q_{md} = 1{,}3 \times 0{,}57 = 0{,}74\ l/s$$

El cálculo del consumo máximo horario, se realiza según la siguiente expresión:

$$Q_{mh}[l/s] = 2{,}0 \times Q_p[l/s]$$

Reemplazando se tiene:

$$Q_{mh} = 2{,}0 \times 0{,}57 = 1{,}14\ l/s$$

Finalmente se debe tener presente que, para el diseño y modelamiento de la red de abastecimiento de agua potable, se considera que la demanda de agua en los nodos de la red es el valor del caudal máximo horario, es decir, la demanda de agua en todos los nodos será igual a 1,14 l/s.

4.1.3.2 Catálogo de diámetros de tuberías para redes de agua potable

Los diámetros de las tuberías para redes de agua potable a presión, ya están establecidas según a la Norma Técnica Peruana NTP 1452:2011, y son comercializables por cualquier distribuidor. Se muestra a continuación el catálogo de tuberías PVC para redes de agua potable a presión:

Tabla 10. Diámetros de tuberías para redes de agua potable

Diámetro Nominal (DN) mm	Diámetro Exterior (DE) mm	PN 8 (8 bar) Diámetro Interior(mm)	PN 10 (10 bar) Diámetro Interior(mm)	PN 16 (16 bar) Diámetro Interior(mm)	Longitud (m)	
					Total	Útil
90	90	85.60	84.20	81.20	6.00	5.904
110	110	105.20	105.00	102.20	6.00	5.896
160	160	153.00	152.80	148.80	6.00	5.881
200	200	191.20	191.00	186.00	6.00	5.871
250	250	239.00	238.80	232.60	6.00	5.857
315	315	301.20	301.00	293.20	6.00	5.840
355	355	339.40	339.20	330.40	6.00	5.831
400	400	382.40	382.20	372.40	6.00	5.822

Nota: Son los diámetros comerciales pre establecidos según la normativa de diseño, “Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo - Santiago de Chuco”, por INCA-LUJÁN, Heyner Alex y ULLOA-FLORES, Silvana Ivon, 2019, p. 74.

4.1.3.3 Modelamiento hidráulico de la red con WaterCAD

Con los datos anteriores ya establecidos, se ha procedido a ingresar estos datos en el software WaterCAD, y se ha realizado el modelamiento considerando los límites establecidos en la norma OS.050 del “Reglamento Nacional De Edificaciones”; pues se establece que la presión máxima en los nodos de la red será de 50 mca (metros de columna de agua) para condiciones estáticas y que la velocidad máxima del flujo de agua dentro de la tubería será de 3m/s.

Del modelamiento realizado en WaterCAD se tiene las siguientes representaciones gráficas para la presión en los nodos y los diámetros en las tuberías:

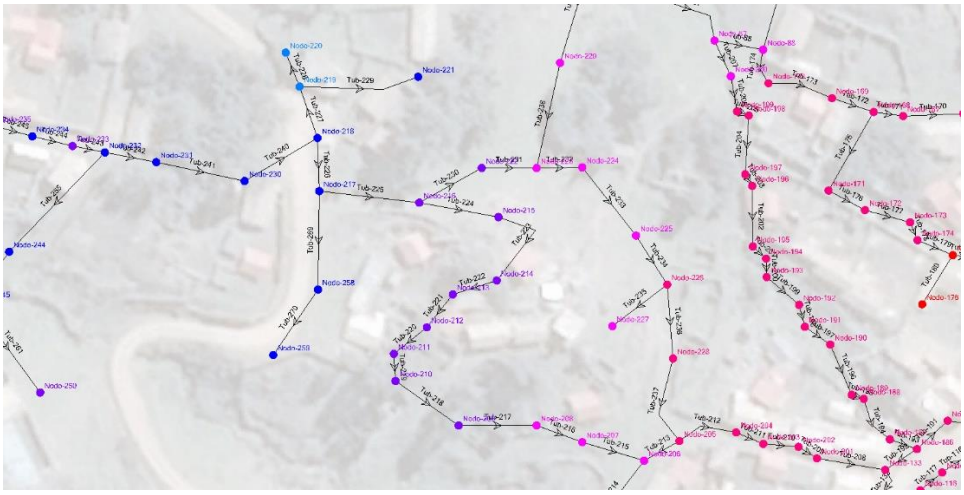


Figura 21. Coloreado de los valores de presiones obtenidas en los nodos de la red

De manera similar se obtuvo para los diámetros de las tuberías:

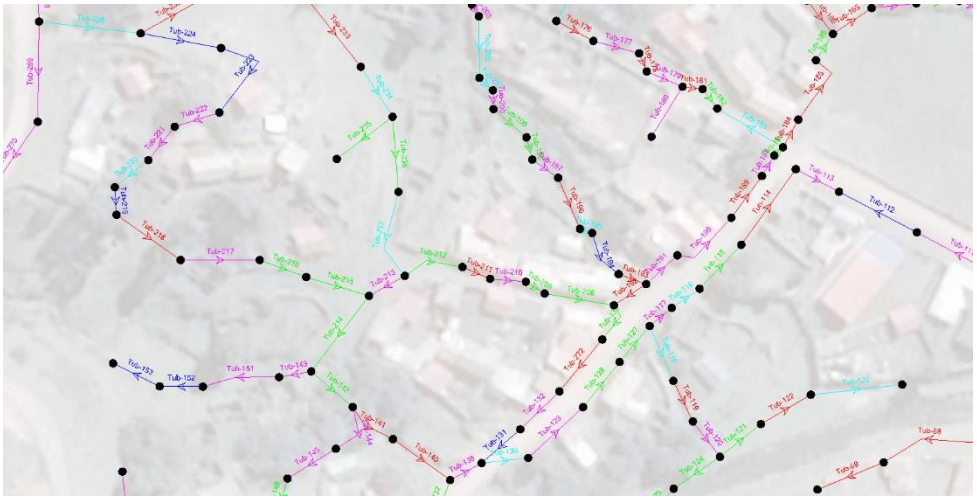


Figura 22. Coloreado de los valores de los diámetros obtenidos para las tuberías

Para revisar los valores de las presiones en los nodos de la red, diámetros obtenidos para las tuberías y sus respectivas velocidades de flujo, se debe revisar el ANEXO 06.

4.1.4 Simulación del comportamiento del cloro residual

Para poder realizar la simulación del comportamiento del cloro dentro de la red de abastecimiento de agua potable, es necesario considerar los valores de los coeficientes de decaimiento en el seno del fluido y la pared de la tubería respectivamente.

El coeficiente de decaimiento en el seno del fluido (Kb) o llamado también coeficiente de reacción de masa para el cloro residual libre, generalmente tiene el siguiente rango de valores típicos:

$$-1,5/\text{día} < Kb < -0,1/\text{día}$$

De manera similar, el coeficiente de decaimiento en la pared de la tubería (kw) o llamado también coeficiente de reacción de pared; se debe tener presente que para el cloro residual el rango de valores depende principalmente de la temperatura del fluido y de las características de la tubería, especialmente del material y de su antigüedad; el rango de valores típicos es:

$$-1,52 \text{ m/día} < Kw < -0,06 \text{ m/día}$$

Un parámetro no menos importante, está referido a la difusividad molecular del cloro (d), que teóricamente representa el grado de libertad de movimiento que tienen las moléculas del cloro, y cuyo rango de valores típicos es el siguiente:

$$1,2x10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} < d < 1,4x10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Para el presente estudio, se asumirán valores numéricos medios de sus respectivos rangos de valores, para los siguientes coeficientes:

$$Kb = -0,8/\text{día}$$

$$Kw = -0,79 \text{ m/día}$$

$$d = 1,3x10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Así mismo, se ha considerado una concentración inicial de 1,80 mg/L para el tanque de almacenamiento de agua Ñahuincucho, mientras que para el tanque Occocucho se considerado una concentración inicial de 1,5 mg/L.

Una vez introducidos estos datos en el software WaterCAD, se ha realizado la simulación para una duración de tiempo equivalente a 24 horas, por lo que los valores del cloro residual en los nodos de la red varían con un intervalo de 1 hora, es decir en cada salto de tiempo de una hora el software mostrara cual es la cantidad de cloro residual en cada nodo de la red, para poder observar los valores numéricos de las cantidades de cloro residual en cada nodo se debe revisar el ANEXO 03, finalmente con el software WaterCAD se ha realizado un mapeo del comportamiento

del cloro (designado por un color característico) según al valor calculado para cada salto de tiempo:

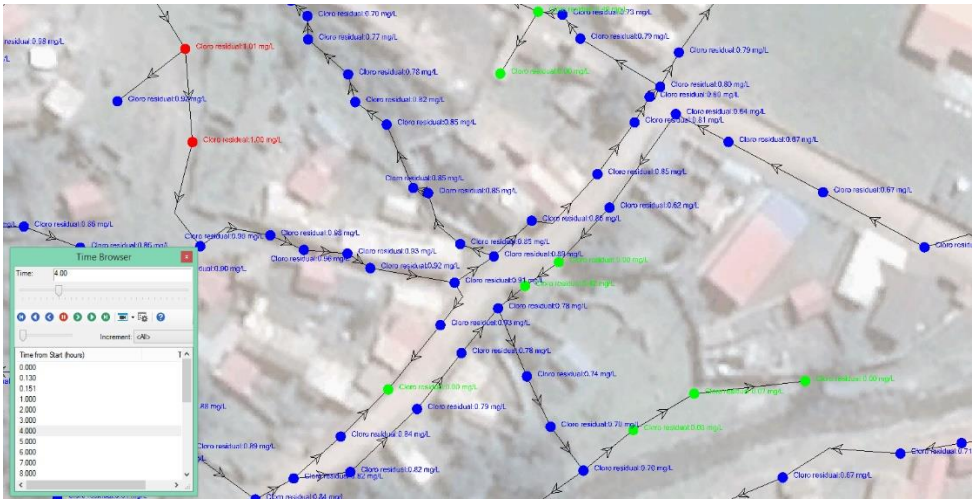


Figura 23. Mapeo de cloro residual para un salto de tiempo acumulado de 4 horas

De los resultados de cloro residual obtenidos, se ha verificado según al ANEXO 6, que todos los valores del cloro residual en los nodos de la red, se encuentran dentro del rango establecido por el "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano", específicamente en el artículo 66 y 67, pues menciona que en el 90% de los nodos de la red la cantidad del cloro residual no debe ser menor a 0,5 mg/L y que en el 10% restante de nodos de la red el cloro residual no debe ser menor del 0,3 mg/L.

4.2 Contrastación de hipótesis

4.2.1 Contrastación de hipótesis general

En este estudio se planteó la siguiente hipótesis general de investigación (esta hipótesis ha sido definida en la matriz de consistencia):

- ✓ Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Esta hipótesis es considerada como la hipótesis alterna (de investigación), mientras que la negación de la misma se denomina hipótesis nula. Para la contrastación de esta hipótesis se ha realizado 25 simulaciones de la variación del cloro residual en la red de distribución de agua potable mediante el software WaterCAD, en dichas

simulaciones se hizo variar simultáneamente los valores de Kb y Kw en sus rangos permisibles, de tal manera que, en cada variación se obtuvo un valor del cloro residual. Considerando que Kb y Kw se comportan como variables independientes y el cloro residual como la variable dependiente, se asume que estadísticamente se trata de un caso multivariado, y considerando que las variables independientes y dependiente asumen valores numéricos, la prueba de hipótesis se realizara mediante regresión lineal múltiple, la teoría necesaria para realizar este procedimiento ha sido detallado en el capítulo II.

Considerando que en la presente investigación se tiene dos variables independientes y una sola variable dependiente, la ecuación se reduce a la siguiente expresión (considerando que la ecuación se hace sobre la muestra):

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \varepsilon$$

4.2.1.1 Datos

Los valores del cloro residual han sido obtenidos a partir de 25 simulaciones con el software WaterCAD, en las que se hizo variar simultáneamente los valores de Kb y Kw, es decir, que cuando Kb y Kw asumen determinados valores (dentro de sus respectivos rangos) y se realiza la simulación con el software WaterCAD, el software nos arrojara valores del cloro residual en todos los nodos de la red, dichos valores han sido calculados teniendo en consideración durante su complejo proceso de cálculo los valores asumidos de Kb y Kw. El nodo de análisis corresponde al nodo 71, la simulación considera el comportamiento del cloro residual a lo largo de las 24 horas, obteniendo los valores del cloro residual con un intervalo de 1 hora, en todos los nodos de la red de distribución. Los valores del cloro residual a considerarse son aquellos que han sido obtenidos en el tiempo T = 24 horas, debido a que con el pasar del tiempo el cloro tiene un decaimiento en todos los nodos de la red, por lo que en T = 24 horas se tiene los valores más críticos para el cloro residual, estos valores están registrados en la tabla del ANEXO 06, los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores asumidos de Kb y Kw para la obtención del cloro residual

Nodo 71, T = 24 horas			
Simulación	**Kb**	**Kw**	**Cloro Residual**
1	-1,186	-0,429	0,915
2	-0,362	-0,611	1,334

3	-1,124	-0,918	0,853
4	-1,018	-1,197	0,847
5	-0,785	-1,278	0,935
6	-0,186	-0,498	1,49
7	-1,322	-0,940	0,769
8	-0,926	-0,588	1,01
9	-0,352	-0,064	1,491
10	-0,290	-1,326	1,186
11	-0,150	-0,725	1,449
12	-1,337	-1,442	0,682
13	-0,315	-1,509	1,122
14	-0,101	-1,446	1,268
15	-0,674	-1,068	1,036
16	-0,796	-0,968	0,996
17	-0,900	-1,488	0,84
18	-0,194	-0,510	1,481
19	-1,220	-0,085	0,961
20	-0,542	-1,471	1,01
21	-1,238	-1,439	0,717
22	-1,387	-1,104	0,718
23	-0,297	-0,302	1,465
24	-0,907	-1,458	0,843
25	-0,357	-0,394	1,397

Nota: Datos de base SPSS

Ingresando estos datos al software SPSS, se puede observar de manera gráfica el comportamiento de las variables independientes (Kb y Kw) y la variable dependiente (Cloro residual) obteniéndose los siguientes diagramas de dispersión:

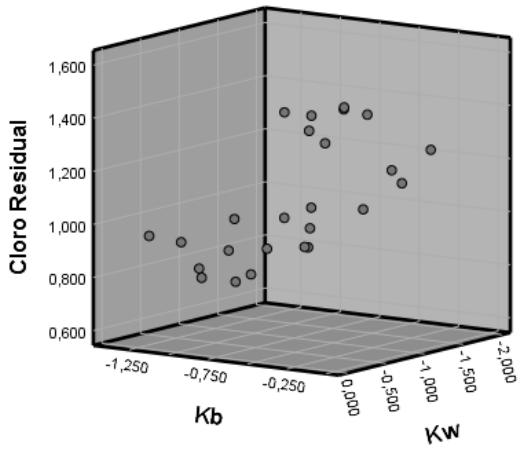


Gráfico 11. Diagrama de dispersión 3D (Fuente: Datos de base SPSS)

De la anterior grafica se puede observar que los puntos no están perfectamente alineados, pero se aproximan a una hipotética línea recta. Para tener una visualización más definida del comportamiento de los datos, se hace uso del diagrama de dispersión matricial:

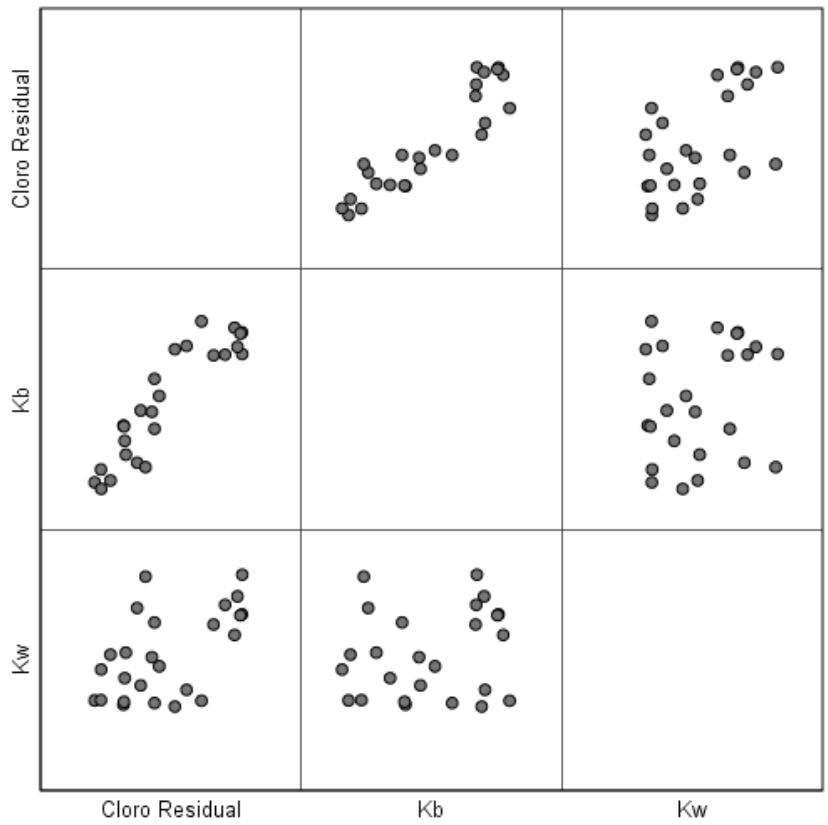


Gráfico 12. Muestra el diagrama de dispersión matricial, donde se visualiza el comportamiento de cada variable explicativa respecto de la variable dependiente (Fuente: Datos de base SPSS)

De la gráfica de dispersión matricial se observa que, en cada cuadrante de la matriz, algunos puntos en el diagrama están alineándose a una línea recta.

4.2.1.2 Determinación de la ecuación lineal múltiple

Identificación de las variables

X_1 = Coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb)

X_2 = Coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw)

Y = Cloro residual en el nodo de la red

Nivel de confianza

1-α = 0,95 o 95%. Probabilidad de que la estimación de un parámetro en una muestra sea el valor real en la población.

Modelo inicial

Para la validación del modelo inicial te tiene en consideración la siguiente tabla obtenido del software SPSS:

Tabla 12. Coeficientes de la ecuación

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados B	Desv. Error	Coeficientes estandarizados Beta	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B Límite inferior	Límite superior	Estadísticas de colinealidad Tolerancia	VIF
1	(Constante)	1,673	,015		110,223	,000	1,642	1,705		
	Kb	,528	,014	,833	37,901	,000	,499	,557	,966	1,035
	Kw	,238	,013	,411	18,707	,000	,211	,264	,966	1,035

Nota: (a) Predictores: (Constante), Kw, Kb. Datos de base SPSS

De la tabla anterior se obtiene los coeficientes de la ecuación:

$\hat{\beta}_0$ = 1,673

$\hat{\beta}_1$ = 0,528

$\hat{\beta}_2$ = 0,238

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$\hat{Y} = 1{,}673 + 0{,}528X_1 + 0{,}238X_2$$

Reemplazando Kb y Kw:

$$\hat{Y} = 1{,}673 + 0{,}528K_b + 0{,}238K_w$$

4.2.1.3 Validación del modelo

Validación de las variables significativas

Consiste en determinar si las variables independientes son significativas e influyen sobre la variable dependiente, para realizar la validación del modelo se tiene en cuenta que los coeficientes que acompañan a las variables independientes deben ser diferentes de cero, valores cercanos a cero indican que dicha variable independiente no influye sobre la variable dependiente, la prueba estadística usada es el t de Student y se considera que el nivel de confianza es del 95%, por lo que α asume un valor de 5% (0,05) los valores se obtienen a partir de la tabla de coeficientes.

Tabla 13. Prueba de hipótesis para las variables significativas

Variables explicativas	Hipótesis	Estadístico de prueba	P-Valor	Decisión
Kb	$H_0: \hat{\beta}_1 = 0$ $H_1: \hat{\beta}_1 \neq 0$	$t = 37{,}901$	$0{,}00 < 0{,}05$	Se rechaza H_0, la variable Kb es significativa para el modelo final.
Kw	$H_0: \hat{\beta}_2 = 0$ $H_1: \hat{\beta}_2 \neq 0$	$t = 18{,}707$	$0{,}00 < 0{,}05$	Se rechaza H_0, la variable Kw es significativa para el modelo final.

Nota: Datos de la base SPSS

De la tabla anterior se concluye que las variables Kb y Kw si son significativas para el modelo final de la ecuación.

Validación del modelo mediante prueba de idoneidad del modelo

Para validar se usa la prueba estadística F de Fisher con un nivel de significancia del 5%, los datos de obtienen a partir de la tabla de varianzas generada con el software SPSS:

Tabla 14. Análisis de la varianza

ANOVA[a]						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,794	2	0,897	1059,048	0,000[b]
	Residuo	0,019	22	0,001		
	Total	1,813	24			

Nota: (a) Predictores: (Constante), Kw, Kb; mientras que (b) Variable dependiente: Cloro Residual. Datos de base SPSS

Para validar el modelo se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: El\ modelo\ lineal\ no\ es\ valido\ (no\ es\ significatico)$$

$$H_1: El\ modelo\ lineal\ es\ valido\ (es\ significativo)$$

Considerando los datos de la tabla de varianzas ANOVA

Estadístico de prueba: F = 1059,048

P-Valor: 0,000 < 0,05

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Por lo tanto, a un nivel de significancia del 5% se afirma que el modelo lineal es válido, es decir, las variables Kb (coeficiente de reacción con la masa del agua) y Kw (coeficiente de reacción en la pared de la tubería) influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual.

4.2.1.4 Verificación de los supuestos

Los supuestos de un modelo estadístico se refieren a una serie de condiciones que deben darse para garantizar la validez del modelo.

Normalidad de residuos

Para determinar la normalidad de los residuos se hace uso de la prueba estadística de Shapiro-Wilk (la cantidad de datos es menor que 50), con un nivel de significancia del 5%, los datos de la prueba estadística son obtenidos de la siguiente tabla generada con el software SPSS:

Tabla 15. Pruebas de normalidad de residuos

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov[(a)]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Residuos no estandarizados	0,139	25	0,200*	0,958	25	0,375

Nota: (a) Corrección de significación de Lilliefors. Datos de base SPSS

Para determinar la normalidad de los residuos se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: Los\ residuos\ tienen\ distribucion\ normal$$

$$H_1: Los\ residuos\ no\ tienen\ distribucion\ normal$$

Considerando los datos de la tabla de pruebas de normalidad

Estadístico de prueba: Shapiro-Wilk = 0,958

P-Valor: 0,375 > 0,05

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Por lo tanto, con un nivel de significancia del 5% se afirma que los residuos tienen una distribución normal.

No autocorrelación de residuos

Para determinar la no autocorrelación de residuos se hace uso de la prueba estadística de Durbin-Watson (d), con un nivel de significancia del 5%, los datos de la prueba estadística son obtenidos de la siguiente tabla generada con el software SPSS:

Tabla 16. Resumen del modelo

Resumen del modelo[(b)]					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	0,995[(a)]	0,990	0,989	0,029105	1,929

Nota: los superíndices se deben considerar como (a) Predictores: (Constante), Kw, Kb; mientras que (b) Variable dependiente: Cloro Residual. Datos de base SPSS

Para determinar la no autocorrelación de residuos se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: Los\ residuos\ no\ estan\ autocorrelacionados$$

$$H_1: Los\ residuos\ estan\ autocorrelacionados$$

Considerando los datos de la tabla de resumen del modelo

Estadístico de prueba: Durbin-Watson = 1,929

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Por lo tanto, con un nivel de significancia del 5% y con el valor de Durbin-Watson (d = 1,929) que pertenece al intervalo [1;3] se afirma que los residuos no están autocorrelacionados.

No multicolinealidad de variables explicativas

Para determinar la no multicolinealidad de las variables explicativas se hace uso de método del Valor de Inflación de Varianza (VIF):

VIF cercanos a 1 → No hay multicolinealidad

$4 \leq VIF \leq 10 \rightarrow$ Sospecha de Multicolinealidad

$VIF > 10 \rightarrow$ Problema de Multicolinealidad

Los datos han sido obtenidos en la tabla denominada “coeficientes” (Tabla 12), usando los valores de la columna estadísticos de colinealidad (VIF):

Kb: VIF = 1,035

Kw: VIF = 1,035

Por lo tanto, considerando que los valores del VIF para las variables independientes Kb y Kw son cercanos a 1 se afirma que no hay multicolinealidad entre las variables independientes (explicativas).

4.2.1.5 Bondad de ajuste

La bondad de ajuste de un modelo de regresión se mide usando el coeficiente de determinación R^2, y sus valores oscilan entre [0;1], cuando un ajuste es bueno, R^2 será cercano a 1, mientras que si el ajuste es malo R^2 será cercano a cero. Para determinar su valor se hace uso de la tabla denominada “resumen del modelo” (Tabla 16), donde se observa que $R^2 = 0,989 \approx 98,9\%$ por lo tanto el modelo tiene un ajuste bueno.

4.2.1.6 Contrastación de hipótesis

Se ha mencionado anteriormente que la hipótesis general (definida en la matriz de consistencia) es asumida como la hipótesis alterna, mientras que la negación de la misma se asume como hipótesis nula**.**

Hipótesis alterna (de investigación):

H_1: Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Hipótesis nula:

H_0: Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro no influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Para contrastar esta hipótesis se deben cumplir con los parámetros estadísticos necesarios que han sido desarrollados las etapas previas anteriormente descritas:

- Determinación de la ecuación lineal múltiple
- Validación del modelo
- Verificación de los supuestos
- Bondad de ajuste

En cada etapa se ha corroborado que el modelo cumpla con todos los parámetros estadísticos necesarios, la primera etapa denominada "determinación de la ecuación lineal múltiple" consistió en obtener la ecuación matemática que permite expresar la relación matemática (causa - efecto) de las variables explicativas Kb y Kw con la variable dependiente "cloro residual".

La segunda etapa denominada "Validación del modelo" consistió en determinar si las variables independientes son significativas e influyen sobre la variable dependiente, mientras que la tercera etapa denominada "Verificación de los supuestos" consistió en que el modelo cumpla una serie de condiciones que deben darse para garantizar la validez del modelo.

La cuarta etapa denominada "Bondad de ajuste" consistió en determinar si el modelo se ajusta al conjunto de datos, obteniéndose un valor de R2 = 0.989, por lo que el modelo tiene un ajuste bueno.

Decisión

Por lo tanto, debido a que se ha cumplido con todos los parámetros estadísticos necesarios descritos en las etapas de "Determinación de la ecuación lineal múltiple", "Validación del modelo", "Verificación de los supuestos" y "Bondad de ajuste" se acepta la Hipótesis alterna (H_1) denominada "Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021"

4.2.2 Contrastación de hipótesis especifica 1

Es este estudio se planteó la siguiente hipótesis especifica 1:

- ✓ Los valores del cloro residual registrado in situ es menor a 0,5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Para poder contrastar esta hipótesis se tiene en consideración el valor mínimo de cloro residual libre que establece "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano" elaborado por el Ministerio de Salud, en dicho escrito se manifiesta que "las muestras tomadas en cualquier punto de la red de distribución, no deberán contener menos de 0,5 mg/L de cloro residual libre en el noventa por ciento (90%) del total de muestras", así mismo, haremos uso de la prueba T de Student para promedios a una sola cola (hipótesis unilateral), ya que necesitamos contrastar, si los datos del cloro residual registrados in situ son menores a 0,5 mg/L.

4.2.2.1 Datos

Los valores del cloro residual en la zona de estudio se obtuvieron mediante una ficha para el registro del cloro residual en el lugar de estudio (red de agua potable existente), este registro se realizó para 54 viviendas que son producto del muestreo realizado para la encuesta del estado situacional de la red de distribución de agua potable, este valor fue calculado en el ítem 4.1.1, así mismo sus respectivos valores están adjuntados en el Anexo 03.

4.2.2.2 Hipótesis

Hipótesis de investigación

H_1: Los valores del cloro residual registrado in situ es menor a 0,5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Hipótesis nula:

H_0: Los valores del cloro residual registrado in situ no es menor a 0,5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

4.2.2.3 Características estadísticas

Nivel de significancia

Alfa (α) = 0,05 o 5%. Es la probabilidad de cometer un error.

Nivel de confianza

1-α = 0,95 o 95%. Probabilidad de que la estimación de un parámetro en una muestra sea el valor real en la población.

Estadístico de prueba:

T de Student (para una muestra)

4.2.2.4 Prueba T Student

Intervalos de confianza para la media (95%)

Tabla 17. Estadísticos de grupo para el cloro residual registrado en la zona de estudio

Cloro residual	**Valor**
N	54
Media	0,230741
Desviación estándar	0,079452
Error estándar	0,010812
IC 95% límite inferior	0,20951
IC 95% límite superior	0,25188

Nota: Datos de base SPSS

La tabla 11 nos muestra los valores estadísticos del cloro residual registrado en la zona de estudio.

Tabla 18. Prueba para una muestra del cloro residual registrado en la zona de estudio

Prueba T para una muestra						
					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	inferior	superior
Cloro residual	-24,904	53	3,1736E-31	-0,26926	-0,2909	-0,2476

Nota: Datos de base SPSS

La tabla 12 nos muestra la prueba T para los valores del cloro residual registrado en la zona de estudio, por lo tanto:

El P-valor (cloro residual registrado en la zona) = 3,1736E-31 < α = 0,05

Se acepta la hipótesis de la investigación (H_1)

Interpretación: Dada una muestra de 54 observaciones con una media de 0,230741 y una desviación estándar de 0,079452, el estadístico t calculado es igual a -24,904. Puesto que el P-valor para la prueba es menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza.

4.2.3 Contrastación de hipótesis especifica 2

Es este estudio se planteó como hipótesis especifica 2:

- ✓ El coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), influye significativamente en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Para poder contrastar esta hipótesis, se puede tomar un nodo al azar y observar cuales son los valores obtenidos del cloro residual a partir de la variación de los valores asumidos de Kb dentro del rango de valores típicos (-1,5/día < Kb < -0,1/día), en este caso se tomó aleatoriamente al nodo 71 de la red y se registró los valores del cloro residual (para T = 24 horas) que fueron calculados mediante el software WATERCAD:

Tabla 19. Valores asumidos de Kb y cloro residual obtenido en el nodo de la red

Valores de Kb (dia^{-1})	**Cloro residual obtenido (mg/L)**
-1,1	1,70
-1,0	1,70
-0,9	1,71
-0,8	1,72
-0,7	1,73
-0,6	1,73
-0,5	1,74

-0,4	1,75
-0,3	1,75
-0,2	1,76

Nota: Variación de los valores de Kb dentro del rango de valores típicos y su respectivo resultado del cloro residual obtenido mediante el software WaterCAD

4.2.3.1 Datos

Los valores de Kb están establecidos en la tabla anterior (primera columna), cada valor ha sido ingresado en el software WATERCAD y se realiza la simulación, el software nos arroja valores del cloro residual en todos los nodos de la red (segunda columna para T = 24horas). Recuerde que Kb tiene un rango de valores que dependerá del tipo de fluido que circula dentro de la tubería, en este caso el fluido es agua, Kb suele encontrarse en el rango de valores -1,5/día < Kb < -0,1/día, el signo negativo indica que existe un decaimiento del cloro al momento en que el cloro reacciona con la masa de agua.

4.2.3.2 Hipótesis

Hipótesis de investigación

H_1: El coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), influye significativamente en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Hipótesis nula

H_0: El coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), no influye significativamente en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

4.2.3.3 Características estadísticas

Nivel de significancia

Alfa (α) = 0,05 o 5%. Es la probabilidad de cometer un error.

Nivel de confianza

1-α = 0,95 o 95%. Probabilidad de que la estimación de un parámetro en una muestra sea el valor real en la población.

Estadístico de prueba

Prueba de correlación de Pearson (para correlación de grupos)

4.2.3.4 Prueba de correlación de Pearson

Intervalos de confianza para la media (95%)

Tabla 20. Estadísticos de grupo para Kb y el cloro residual resultante mediante WATERCAD

Medidas	**Kb (dia^{-1})**	**Cloro residual (mg/L)**
Media	-0,650	1,729
Error estándar	0,0957	0,0067
IC 95% límite inferior	-0,867	1,714
IC 95% límite superior	-0,433	1,744

Nota: Datos de la base SPSS

La tabla 14 nos muestra los valores estadísticos del coeficiente de reacción con la masa del agua (Kb) y el cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD.

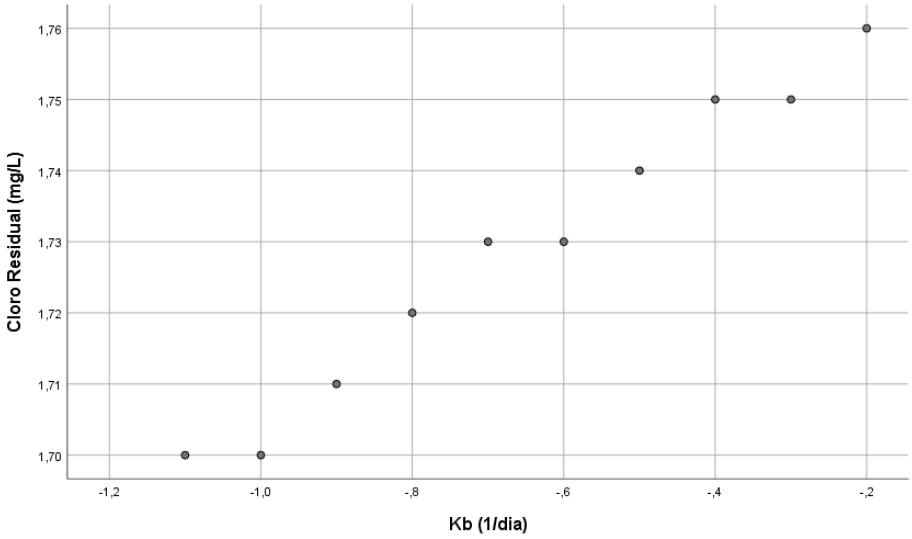


Gráfico 13. Muestra el grado de correlación (correlación directa) que existe entre los valores de Kb y el cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD, grafico tomado de la base de datos del software SPSS (Fuente: Base de datos SPSS)

Definido el grado de correlación se procede a realizar la prueba estadística de correlación de Pearson.

Tabla 21. Prueba para correlación de grupos de los valores de Kb y los valores del cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD

Prueba de correlación de Pearson		
		Cloro residual
Kb	N	10
	Sig.	0,0487
	Correlación de Pearson	0,964

Nota: Datos de la base SPSS

La tabla 15 nos muestra la prueba de correlación de Pearson para los valores de Kb y el cloro residual obtenido con el software WATERCAD, por lo tanto:

El P-valor (Kb/cloro residual) = 0,0487 < α = 0.05

Se acepta la hipótesis de la investigación (H_1)

Interpretación: En las 10 evaluaciones realizadas sobre el comportamiento del cloro residual, se observa que existe una alta influencia (r = 0,964) de los valores de Kb (coeficiente de reacción con la masa de agua) sobre los valores obtenidos del cloro residual para el nodo de análisis.

4.2.4 Contrastación de hipótesis especifica 3

Es este estudio se planteó como hipótesis especifica 3:

- ✓ El coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), afecta considerablemente en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Para poder contrastar esta hipótesis, se puede tomar un nodo al azar y observar cuales son los valores obtenidos del cloro residual a partir de la variación de los valores de Kw dentro del rango de valores típicos (-1,52 m/día < Kw < -0,06 m/día), en este caso se tomó aleatoriamente al nodo 71 de la red y se registró los valores del cloro residual mediante el software WATERCAD:

Tabla 22. Valores típicos asumidos de Kw y cloro residual obtenido en el nodo de la red

Valores de Kw (m/dia)	Cloro residual obtenido (mg/L)
-1,0	1,71
-0,9	1,72
-0,8	1,72
-0,7	1,72
-0,6	1,72
-0,5	1,73
-0,4	1,73
-0,3	1,73
-0,2	1,74
-0,1	1,74

Nota: Variación de los valores Kw dentro del rango de valores típicos y sus respectivos valores del cloro residual obtenidos mediante el software WaterCAD

4.2.4.1 Datos

Los valores de Kw están establecidos en la tabla anterior (primera columna), cada valor ha sido ingresado en el software WATERCAD y se realiza la simulación, el software nos arroja valores del cloro residual en todos los nodos de la red (segunda columna para T = 24horas). Recuerde que Kw tiene un rango de valores que dependerá del tipo de material de la tubería, en esta investigacion para tuberías de Policloruro de Vinilo comúnmente llamados tuberías de PVC, Kw suele encontrarse en el rango de valores -1,52 m/día < Kw < -0,06 m/día, el signo negativo indica que existe un decaimiento del cloro, al momento en que el cloro reacciona con la pared de la tubería.

4.2.4.2 Hipótesis

Hipótesis de investigación

H_1: El coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), afecta considerablemente en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

Hipótesis nula

H_0: El coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), no afecta considerablemente en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

4.2.4.3 Características estadísticas

Nivel de significancia

Alfa (α) = 0,05 o 5%. Es la probabilidad de cometer un error.

Nivel de confianza

1-α = 0,95 o 95%. Probabilidad de que la estimación de un parámetro en una muestra sea el valor real en la población.

Estadístico de prueba

Prueba de correlación de Pearson (para correlación de grupos)

4.2.4.4 Prueba de correlación de Pearson

Intervalos de confianza para la media (95%)

Tabla 23. Estadísticos de grupo para Kw y el cloro residual resultante mediante WATERCAD

Medidas	Kw (dia^{-1})	Cloro residual (mg/L)
Media	-0,55	1,7260
Error estándar	0,096	0,00306
IC 95% límite inferior	-0,77	1,7191
IC 95% límite superior	-0,33	1,7329

Nota: Datos de la base SPSS

La tabla 18 nos muestra los valores estadísticos del coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw) y el cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD.

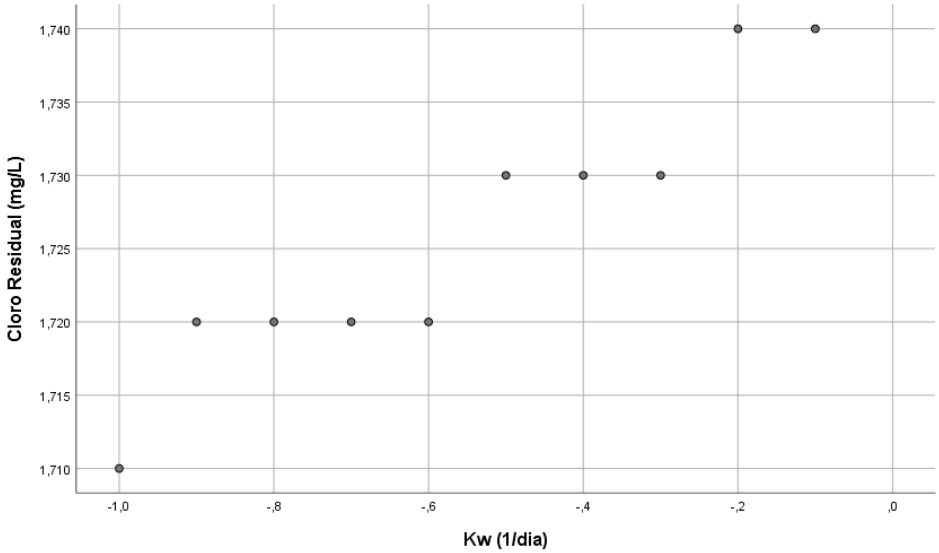


Gráfico 14. Muestra el grado de correlación (correlación directa) que existe entre los valores de Kw y el cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD, gráfico tomado de la base de datos del software SPSS.

Definido el grado de correlación entre Kw y el cloro residual, se procede a realizar la prueba estadística de correlación de Pearson.

Tabla 24. Prueba para correlación de grupos de los valores de Kw y los valores del cloro residual obtenido mediante el software WATERCAD

Prueba de correlación de Pearson		
		Cloro residual
Kb	N	10
	Sig.	0,0463
	Correlación de Pearson	0,950

Nota: Datos de la base SPSS

La tabla 19 nos muestra la prueba de correlación de Pearson para los valores de Kw y el cloro residual obtenido con el software WATERCAD, por lo tanto:

El P-valor (Kw/cloro residual) = 0,0463 < α = 0,05

Se acepta la hipótesis de la investigación (H_1)

Interpretación: En las 10 evaluaciones realizadas sobre el comportamiento del cloro residual, se observa que existe una alta influencia (r = 0,950) de los valores

de Kw (coeficiente de reacción en la pared de la tubería) sobre los valores obtenidos del cloro residual para el nodo de análisis.

4.2.5 Cronograma de actividades

El presente estudio se ha establecido el siguiente cronograma de actividades:

Tabla 25. Cronograma de actividades

Actividades	Meses															
	Feb-21				Mar-21				Abr-21				May-21			
	Semanas															
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FASE 1: Planeamiento																
Coordinación																
Revisión bibliográfica																
Redacción del plan de tesis																
Presentación del plan de tesis																
Revisión del plan de tesis																
Aprobación del plan de tesis																
FASE 2: Ejecución																
Elaboración de instrumentos																
Recolección de datos																
Procesamiento de datos																
Análisis e interpretación de datos																
FASE 3: Informe																
Redacción del informe final																
Presentación del informe final																
Revisión del informe final																
FASE 3: Sustentación																

Nota: Cronograma de actividades según avance del proyecto de investigación

4.3 Discusión de resultados

Como se detalló en el capítulo de RESULTADOS, inicialmente se realizó un diagnóstico de la red existente, al corroborar que dicha red existente no cumple con los parámetros de la normativa, se proyectó una nueva red de abastecimiento de agua potable para la comunidad campesina de Sacsamarca, esta nueva red fue diseñada para cumplir con los estándares de la norma OS.050 del "Reglamento Nacional de Edificaciones" y los artículos 66 y 67 del "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano", seguidamente se procedió a realizar la simulación del cloro residual mediante el software WaterCAD, a partir de dichos resultados se realizaron las respectivas contrastaciones de hipótesis, demostrándose que Kb y Kw influyen significativamente sobre el valor final del cloro residual; de los estudios internacionales se observa que resultados de Guanuchi y Ordóñez (2017), Calle y Pauta (2021), Domínguez (2021) y Quito (2020) estuvieron sujetos al estricto cumplimiento de la norma INEN del país de Ecuador, las redes y calidad de agua

fueron simuladas son el software WaterCAD, y en dichos estudios se realizó una calibración en campo de los resultados, demostrando la eficacia del software. La investigación de Inca y Ulloa (2018) tiene mayor semejanza con el presente estudio, puesto que se centró en realizar una simulación del comportamiento teórico del cloro en redes de abastecimiento de agua potable; los resultados de Inca y Ulloa (2018) estuvieron sujetos a la norma peruana, por otra parte el estudio de Díaz (2002) estuvo sujeto a la norma colombiana, en dicho estudio el investigador se basó en realizar un muestreo de campo con D.P.D con el fin de determinar la calidad del agua y cuáles son las posibles causas de su baja calidad.

De los estudios nacionales se observa que la tesis de Inca & Ulloa (2018) es similar al presente estudio, puesto que realizaron una simulación del cloro residual con WaterCAD y cumpliendo la normativa peruana; mientras que el estudio de García (2019) consistió en analizar el cloro residual en tuberías de cobre mediante EPANET y bajo calibración en campo. El estudio de Vega (2019), Nizama (2019), Castillo & Parieton (2019), Rodriguez (2018), Huaman y Contreras (2020) estuvo basado principalmente medir el cloro residual en la red mediante D.P.D con el fin de hacer un control estadístico, para luego evaluar sus respectivos sistemas de cloración.

CONCLUSIONES

Conclusión general

- ✓ Los resultados de la investigación confirman que los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual en la red de agua potable analizada. Se aplicó el procedimiento estadístico de regresión lineal múltiple con un nivel de confianza del 95%, de lo que se obtuvo, finalmente, una bondad de ajuste de los datos de $R^2 = 0,989$; por lo que, se concluye que las variables independientes Kb y Kw influyen significativamente sobre los valores del cloro residual.

Conclusiones especificas

- ✓ De los resultados obtenidos en la investigación, se verifica que los valores del cloro residual registrado in situ son menores a 0,5 mg/L para la red de agua potable analizada. Para su verificación, se aplicó la prueba estadística t de Student para promedios a una sola cola con un nivel de confianza del 95%; se obtuvo un P-valor = 3,1736E-31 < $\alpha = 0,05$, permitiendo inferir que la red existe no cumple con los parámetros establecidas en las normativas; esta demostración es de suma importancia, puesto que la simulación del cloro residual solo se puede realizar en redes que cumplan con los parámetros de las normativas.
- ✓ En los resultados de la investigación se verifican que el coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), influye significativamente en el comportamiento del cloro residual para la red analizada; para su corroboración, se aplicó la prueba estadística de Pearson con un nivel de confianza del 95%, para finalmente obtener un P-valor = 0,0487 < $\alpha = 0,05$ y un coeficiente de correlación r = 0,964, lo que permite concluir que existe una influencia positiva fuerte de la variable independiente Kb (coeficiente de reacción con la masa de agua) sobre el comportamiento de cloro residual.
- ✓ Los resultados de la investigación corroboran que el coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw) afecta considerablemente en el comportamiento de cloro residual para la red analizada; para su validación, se aplicó la prueba estadística de Pearson con un nivel de confianza del 95%; finalmente, obtener un P-valor = 0,0463 < $\alpha = 0,05$ y un coeficiente de correlación r = 0,950. Esto permitió concluir que existe una influencia positiva fuerte de la variable independiente Kw

(coeficiente de reacción en la pared de la tubería) sobre el comportamiento del cloro residual.

RECOMENDACIONES

Recomendación general

- ✓ Es necesario que, en la normativa, se implemente la teoría necesaria que permita establecer claramente los parámetros necesarios para asumir los valores de Kb y Kw, considerando el tipo fluido y material con que el que diseñe la red de agua potable; así mismo, recomendar cuales deberían ser los procedimientos estándar que permitan realizar un adecuado modelamiento y simulación del cloro residual en las redes de distribución de agua potable.

Recomendaciones especificas

- ✓ Con el fin de determinar el estado situacional de la cloración del agua, es recomendable realizar un registro del cloro residual en las piletas de la zona mediante el método D.P.D, a fin de poder realizar un mapeo del cloro residual en los nodos de la red, de esta manera se tendrá una mejor percepción por parte del investigador al momento de tomar decisiones.
- ✓ A fin de poder respaldar el valor teórico de Kb, es recomendable realizar calibraciones en campo; de esta manera se podrá comprobar la semejanza del valor teórico de Kb con los valores obtenidos de campo.
- ✓ Para poder respaldar el valor teórico de Kw, es recomendable realizar calibraciones en campo, a fin de poder corroborar la similitud del valor teórico de Kw con los valores obtenidos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **RED INTERAMERICANA DE ACADEMIAS DE CIENCIAS.** Calidad del Agua en las Anericas, Riesgos y Oportunidades. México : The Inter-American Network of Academies of Sciences, 2019. 978-607-8379-33-0.

2. **CHULLUNCUY-CAMACHO, Nadia Cristina.** Tratamiento de agua para consumo humano. Perú : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011. 1025-9929.

3. **Rojas, Vargas Ricardo y Vargas, García Carmen.** Control y vigilancia de la calidad de agua de consumo humano. Lima - Perú : CEPIS, 1996.

4. **BENDEZU-QUISPE, Guido, y otros.** Concentración inadecuada de cloro residual libre en agua de hogares de lima metropolitana. Perú : Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 2018. 1726-4634.

5. **GUANUCHI-QUEZADA, Christian Marcelo y ORDÓÑEZ JARA, Juan Andrés.** Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental. Ecuador : Universidad de Cuenca de Ecuador, 2017.

6. **BAÑOS-CABALLERO, David.** Modelado hidráulico y simulación de la calidad del agua en una red de abastecimiento municipal: implementación y validación del método en el municipio de alcantarilla. España : Universidad Politecnica de Cartagena, 2016.

7. **Enciso, Niray Andrés Jauregui.** Seguimiento de la concentración de cloro residual en tanque de almacenamiento, red de distribucción y tanques residenciales en el municiio de Fortul, departamento de Arauca. Bogotá : Lasalle, 2019.

8. **Calle Bustamante, Daniel Antonio y Pauta Novillo, Jonnathan Marco.** Evaluacion y plan de mejoramiento para el sistema de agua potable de la comunidad de Santa Teresita, parroquia Chiquintad. Ecuador : Universidad de Azuay, 2021.

9. **Dominguez Asencio, Luis fernando.** Modelamiento de la calidad de agua potable en la en la red de distribuacion de la parroquia Chandy mediante el uso del programa waterCAD. Ecuador : Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena, 2021.

10. **Quito Vivanco, Andres Eduardo.** Estudio de calidad de agua y modelación hidráulico del sistema de. Ecuador : Univerdidad Estatal del Sur de Manabi, 2020.

11. **INCA-LUJÁN, Heyner Alex y ULLOA-FLORES, Silvana Ivon.** Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo - Santiago de Chuco. Perú : Universidad Nacional De Trujillo, 2018.

12. **GARCIA-AVILA, Fausto Fernando.** Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador. Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019.

13. **Inca Lujan, Heyner Alex y Ulloa Frores, Silvana Ivon.** Modelamiento de la consentracion de cloro residual de la red de agua del caserio de Pueblo Nuevo-Santiago de Chuco. Trujillo : Universidad Nacional de Trujilo, 2018.

14. **Vega Rimac, Guiller Leonidas.** Determinacion del abstecimineto de cloro en funcion al coeficiente de reaccion en pared de tuveria, en las redes de distribucion de agua potable en la localidad de San Miguel de Monterrey . Ancash : Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2019.

15. **Nizama Quiñonez, Jose Carlos.** Determinacion del decaimineto de cloro con raccion de la masa de agua en tuberias de la red de distribucion de agua potable en la localidad de San Miguel de Monterrey distrilo de Independencia, Huaraz, Ancash. Ancash : Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2019.

16. **Castillo Carrillo, Mayler Brando y Pariaton Sanchez, Jhony Lorenzo.** Eficiencia tecnica del sistema de agua potable de la localidad de San Jose del Alto y San Miguel, Distrito San Jose del Alto - Jaen - Cajamarca. Jaen : Universidad Nacional de Jaen, 2019 .

17. **Rodríguez Soria, Yessenia.** 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. Moyobamba : Universidad Nacional de San Martin - Tarapoto, 2018.

18. **Huaman Condori, Jose Maria y Contreras Pari, Ivan.** Evaluacion de cloro residual libre en el centro poblado de Santa Rosa de Ccohapampa, distrito de Anchonga - Huancavelica. Huancavelica : Universidad Nacional de Huancavelica, 2020.

19. **Perez Chanca, Roli Elito y Ramos Castellanos, Gisela.** Dosis de cloro y cloro residual en el sistema de agua potable en le sector de Puyhan Grande del distrito y provincia

de Huancavelica - 2018. Huancavelica : Universidad Nacional de Huancavelica, 2018.

20. **COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.** 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, 2018. 978-607-626-014-2.

21. **MONTEIRO, L., y otros.** Modelado de la descomposición del cloro en los sistemas de suministro de agua potable utilizando. Londres : ScienceDirect, 2015.

22. **BAÑOS-CABALLERO, David.** Modelado hidráulico y simulación de la calidad del agua en una red de abastecimiento municipal: implementación y validación del método en el municipio de alcantarilla. España : Universidad Politecnica de Cartagena, 2016.

23. **ALCOCER-YAMANAKA, Víctor H., TZATCHKOV, Velitchko y ARREGUÍN CORTÉS, Felipe I.** Modelo de calidad del agua en redes de distribución. México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1996.

24. **GARCIA-AVILA, Fausto Fernando.** Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador. Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019.

25. **PÉREZ-CHANCA, Roli y RAMOS-CASTELLANOS, Gisela.** Dosis de cloro y cloro residual libre en el sistema de agua potable en el sector Puyhúan Grande del distrito y provincia de Huancavelica. Perú : Universidad Nacional de Huancavelica, 2018.

26. **HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian Paulina.** Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México : McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V., 2018. 978-1-4562-6096-5.

27. **HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M.** Metodología de la investigación. 6Ed. México : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. 978-1-4562-2396-0.

28. —. Metodología de investigación. 4Ed. México : McGraw-Hill Interamericana, 2006.

29. **HERNÁNDEZ, Roberto , y otros.** Fundamentos de investigación. México : McGraw-Hill interamericana Editores, 2017. 978-607-15-1395-3.

30. **VIDAL, Rosario , MARTÍNEZ, Fernando y AYZA, Manuel.** Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulación de las redes de distribución de agua potable. España : Universidad Politécnica de Valencia, 1994.

31. **ALCOCER-YAMANAKA, Víctor H., TZATCHKOV , Velitchko y ARREGUÍN CORTÉS , Felipe I. .** Modelo de calidad del agua en redes de distribución. México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2004.

32. **ALCOCER-YAMANAKA , Víctor H. , TZATCHKOV , Velitchko y ARREGUÍN CORTÉS , Felipe I. .** Decaimiento del cloro por reacción con el agua en redes de distribución. México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2004.

33. **SÁNCHEZ, Luís D. , y otros.** 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. Colombia : Ingeniería y Competitividad, Revista Científica y Tecnológica, 2010.

34. **KIM, H., KIM, S. y KOO, J.** Predicción de la concentración de cloro en diversas condiciones hidráulicas para un sistema de distribución de agua a escala piloto. Londres : Science Direct, 2014.

35. **AGUILAR-SIGÜENZA, Jonathan Mauricio.** Modelación para evaluar cloro residual en la red principal del sistema de agua potable de Buenavista, cantón pasaje, provincia de el Oro. Ecuador : Universidad Técnica de Machala, 2015.

36. **GUANUCHI-QUEZADA, Christian Marcelo y ORDÓÑEZ JARA, Juan Andrés.** Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental. Ecuador : Universidad de Cuenca de Ecuador, 2017.

37. **VERA-MORA, Luis Ernesto.** Modelación del comportamiento Hidraúlico y calidad del Agua en la red de distribución del sistema de AAPP de la Parroquia Torata, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro. Ecuador : Universidad Técnica de Machala, 2015.

38. **RODRÍGUEZ-BARRADAS, Erika.** Variabilidad temporal de cloro residual y presencia de Fe, Cu y Mn en una red de distribución de agua potable en ciudad del Carmen, Campeche. Mexico : Universidad Autónoma del Carmen, 2012.

39. **INCA-LUJÁN, Heyner Alex y ULLOA-FLORES, Silvana Ivon.** Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo - Santiago de Chuco. Perú : Universidad Nacional De Trujillo, 2018.

40. **HERNÁNDEZ-ALMANZA, Henry José.** Calibración de cloro residual en Sistemas de Distribución de Agua Potable. Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2004.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSION	UNIDAD DE MEDIDA	METODOLOGIA
Problema general: ¿Cuál es la influencia de los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021?	**Objetivo general:** Determinar la influencia de los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.	**Hipótesis general:** Los coeficientes de reacción de decaimiento del cloro influyen significativamente en el comportamiento del cloro residual simulado de la red de distribución, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.	**Variable de estudio:** **Independiente:** Coeficientes de reacción para el decaimiento del cloro. **Dependiente:** Cloro residual simulado.	- Coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb) - Coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw) - Cloro residual simulado en los distintos nodos de la red.	- $día^{-1}$ - m/día (metros por día) - mg/L (miligramos por litro).	**Tipo de Investigación:** Investigación Aplicada **Nivel de Investigación:** Investigación correlacional - explicativo **Diseño de Investigación:** Diseño transversal **Población, Muestra y Muestreo:** **- Población:** Red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca. **- Muestra:** Nodos de la red, para observar el valor del cloro residual. **- Muestreo:** Muestreo probabilístico **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos:** **- Técnicas:** Observación **- Instrumentos:** Ficha de registro del cloro residual **Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos:** **- Técnicas:** Análisis cuantitativo **Procesamiento:** * Software Microsoft Excel * Software Global Mapper * Software WATERCAD * Software SPSS
Problema específico: 1. ¿Los valores del cloro residual registrado in situ son menor a 0.5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021? 2. ¿Cómo influye el coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021? 3. ¿Cómo influye el coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021?	**Objetivo específico:** 1. Determinar si los valores del cloro residual registrado in situ son menor a 0.5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021. 2. Determinar la influencia del coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021. 3. Determinar la influencia del coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.	**Hipótesis especifica:** 1. Los valores del cloro residual registrado in situ son menor a 0.5 mg/L, en los nodos de la red de distribución de agua, de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021. 2. El coeficiente de reacción con la masa de agua (Kb), influye significativamente en el comportamiento del cloro, de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021. 3. El coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw), afecta considerablemente en el comportamiento del cloro de la red de distribución de agua de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.				

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

DEFINICIÓN NOMINAL	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERATIVA	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICION
Variable de estudio.	Cloro residual en los nodos de la red de distribución de agua.	Esta referido al remanente de cloro presente en el agua, después de que parte del cloro añadido al agua reaccione en el proceso de desinfección de esta.	Cloro	El cloro es la sustancia más usada en el mundo como desinfectante para el agua de consumo humano.	mg/L (miligramos por litro).	Medidor de cloro residual (colorímetro).
			Coeficiente de reacción con la masa del agua (Kb)	Coeficiente que depende de las reacciones que se producen dentro del fluido.	$día^{-1}$	Ecuación de velocidad de reacción.
			Coeficiente de reacción en la pared de la tubería (Kw)	Coeficiente que depende de la reacción que se produce en la pared de la tubería y está influenciada por el contacto del fluido con el área de pared disponible para la reacción.	$m/m^2/día$	Ecuación de velocidad de reacción.

Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

ANEXO 01

Carta de consentimiento para el recojo de datos en el lugar de estudio de la tesis denominada: “Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021”

"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERU: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

Huancavelica, 22 Setiembre de 2021

CARTA DE CONSENTIMIENTO

Ing. Carlos Riveros Chahuayo
Presidente de la comunidad campesina de Sacsamarca

ASUNTO: Consentimiento para realizar trabajos de investigación proyecto de tesis en campo.

Respetado Sr. Presidente y a su Junta Directiva

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted(es), con la finalidad de solicitar su consentimiento para ingresar a su comunidad campesina de Sacsamarca para el desarrollo de nuestro proyecto de investigación (tesis) que lleva por título: **Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica. 2021**. Y quienes la vienen desarrollando son la **Bach. Katherin Marisol Huamani Cahuana**, identificada con DNI N° 72202998; domiciliada en Jr. Las peñas chanquilccocha – Distrito de Huancavelica - Provincia de Huancavelica y Departamento de Huancavelica y el **Bach. Deyvis Tuero Espinal**, identificado con DNI N°44393837; domiciliado en Jr. Angamos #341 – Distrito de Distrito de Ascensión – Provincia de Huancavelica y Departamento de Huancavelica; ambos egresados de la Universidad Continental.

Para el logro del objetivo del proyecto de investigación (tesis), se realizará la aplicación de métodos que nos permitirá detectar las áreas criticas en materia estudio de cloro residual a través de la red de distribución de agua; en tal sentido se requiere de su valiosa colaboración otorgándonos acceso a su comunidad para la recolección de datos necesarios, con el fin de generar un diagnostico situacional en el que se encuentra.

A continuación, las actividades a realizarse son:

- ✓ Encuesta a cada poblador de la comunidad.
- ✓ La medición de cloro residual en las viviendas para su evaluación.

Agradeciendo de antemano la colaboración prestada para con los bachilleres antes mencionados, nos suscribimos de usted

Atentamente.

Katherin M. Huamani Cahuana — DNI 72202998

Deyvis Tuero Espinal — DNI 44393837

Presidente de Comunidad

ANEXO 02

Fichas de encuesta para la determinación del estado situacional del sistema de abastecimiento de agua potable y de la calidad de agua para consumo humano.

Encuesta socio-económica del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

A. Información básica

1. Persona entrevistada: *( ) Padre* *( ) Madre* *( ) Otros*

   Apellidos y nombres:

   …….....

   Edad: ……...……..…

   Grado De Instrucción: ……..…..…….

2. ¿Cuántas personas habitan en la vivienda? ……...

3. Acerca del número de habitantes de su vivienda:

   Hombres ……...

   Mujeres ……...

   Niños(as) (menores de 12 años) …….……..…..

B. Información sobre el sistema de abastecimiento de agua

4. ¿Actualmente cuál es su fuente de abastecimiento de agua?

   ( ) Pileta en su vivienda *( ) Pileta publica* *( ) Pozo*

   ( ) Vecino *( ) Otros*

5. ¿Cada cuánto tiempo se abastece de agua?

   ( ) Diario *( ) Interdiario* *( ) Semanal* *( ) Otros*

6. ¿Tiene conocimiento sobre si el agua que consume es clorada?

   ( ) Si ( ) No

7. ¿Dónde almacena el agua?

   ( ) Cilindro ( ) Balde ( ) Bidón ( ) Otros

8. ¿Dónde ubica el depósito de agua?

   ( ) Dentro de la vivienda *( ) Fuera de la vivienda* *( ) Otros*

9. ¿Les da limpieza a sus depósitos de agua?

   ( ) Si ( ) No

10. ¿Cuál es el uso principal que le da al agua que almacena?

    ( ) Preparar alimentos *( ) Higiene personal ( ) Lavado de ropa*

    ( ) Lavado de vajillas *( ) Otros* .....

ANEXO 03

Ficha de registro del cloro residual en las piletas de las viviendas que conforman la muestra de la población total

Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE CONTROL DE PARAMETROS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Tesis: Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

LOCALIDAD : Sacsamarca	DISTRITO : Huancavelica	PROVINCIA : Huancavelica	DEPARTAMENTO : Huancavelica
TIPO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE : Gravedad sin tratamiento SGST			
NOMBRE DEL PRESTADOR : Junta Administradora de Servicios de Saneamiento "Sacsamarca"			
TIPO DE SISTEMA DE CLORACIÓN: Autocompensante		INSUMO EMPLEADO : Cloro granulado al 65-70%	
N° DE HABITANTES: 171 hab	N° VIVIENDAS HABITADAS: 54 viviendas		AÑO: 2021

Nº	SISTEMA FUNCIONANDO		CONTINUIDAD HRS/DÍA	PUNTO DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO	APELLIDOS Y NOMBRES JEFE(A) DE FAMILIA
	SI	NO			CLORO RESIDUAL (mg/L)	
01	X		24 Hrs	Vivienda Nº 01	0.26	Otañe Curo Manuel
02	X		24 Hrs	Vivienda Nº 02	0.23	Escobar Jurado Sonia
03	X		24 Hrs	Vivienda Nº 03	0.12	Riveros Escobar Sonia
04	X		24 Hrs	Vivienda Nº 04	0,20	Escobar Tornero Lidia
05	X		24 Hrs	Vivienda Nº 05	0,32	Villa Riveros Lorenzo
06	X		24 Hrs	Vivienda Nº 06	0.17	Cayetano Urbina Nancy
07	X		24 Hrs	Vivienda Nº 07	0.34	Pizarro Quispe Maria
08	X		24 Hrs	Vivienda Nº 08	0.35	Quispe Laura Fernanda
09	X		24 Hrs	Vivienda Nº 09	0.15	Laura Rivera Ana
10	X		24 Hrs	Vivienda Nº 10	0.24	Torres Quispe Maria

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA — PRESIDENTE — HUANCAVELICA

Carlos Elmer Riveros Chahuayo
DNI: 10811657
Presidente de comunidad

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA — PRESIDENTE JASS — HUANCAVELICA

Aydon Zenon Valencia Villa
DNI: 23213131
Presidente JASS

Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE CONTROL DE PARAMETROS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Tesis: Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

LOCALIDAD : Sacsamarca	DISTRITO : Huancavelica	PROVINCIA : Huancavelica	DEPARTAMENTO : Huancavelica
TIPO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE : Gravedad sin tratamiento SGST			
NOMBRE DEL PRESTADOR : Junta Administradora de Servicios de Saneamiento "Sacsamarca"			
TIPO DE SISTEMA DE CLORACIÓN: Autocompensante		INSUMO EMPLEADO : Cloro granulado al 65-70%	
N° DE HABITANTES: 171 hab	N° VIVIENDAS HABITADAS: 54 viviendas		AÑO: 2021

Nº	SISTEMA FUNCIONANDO		CONTINUIDAD HRS/DÍA	PUNTO DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO	APELLIDOS Y NOMBRES JEFE(A) DE FAMILIA
	SI	NO			CLORO RESIDUAL (mg/L)	
11	X		24 Hrs	Vivienda Nº 11	0.15	Zanabria Escobar Juana
12	X		24 Hrs	Vivienda Nº 12	0.20	Romani Carbajal Joel
13	X		24 Hrs	Vivienda Nº 13	0.15	Cayetano Clemente Hernan
14	X		24 Hrs	Vivienda Nº 14	0.28	Alvares Ccanto Lucrecia
15	X		24 Hrs	Vivienda Nº 15	0.18	Paucar Carbajal Gladis
16	X		24 Hrs	Vivienda Nº 16	0.20	Poma Ñahui Carmen
17	X		24 Hrs	Vivienda Nº 17	0.19	Villanueva Perez Tomas
18	X		24 Hrs	Vivienda Nº 18	0.11	Riveros Curasma Juan
19	X		24 Hrs	Vivienda Nº 19	0.40	Curipaco Perez Saturnina
20	X		24 Hrs	Vivienda Nº 20	0.20	Clemente Ñahui Haydee

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA — PRESIDENTE — HUANCAVELICA

Carlos Elmer Riveros Chahuayo
DNI: 19811657
Presidente de comunidad

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA — PRESIDENTE JASS — HUANCAVELICA

Adrian Zenon Valencia Pilla
DNI: 23213131
Presidente JASS

Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE CONTROL DE PARAMETROS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Tesis: Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

LOCALIDAD : Sacsamarca	DISTRITO : Huancavelica	PROVINCIA : Huancavelica	DEPARTAMENTO : Huancavelica
TIPO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE : Gravedad sin tratamiento SGST			
NOMBRE DEL PRESTADOR : Junta Administradora de Servicios de Saneamiento "Sacsamarca"			
TIPO DE SISTEMA DE CLORACIÓN: Autocompensante		INSUMO EMPLEADO : Cloro granulado al 65-70%	
N° DE HABITANTES: 171 hab	N° VIVIENDAS HABITADAS: 54 viviendas		AÑO: 2021

Nº	SISTEMA FUNCIONANDO		CONTINUIDAD HRS/DÍA	PUNTO DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO	APELLIDOS Y NOMBRES JEFE(A) DE FAMILIA
	SI	NO			CLORO RESIDUAL (mg/L)	
21	X		24 Hrs	Vivienda Nº 21	0.21	Cayetano Perez Sonia
22	X		24 Hrs	Vivienda Nº 22	0.16	Laura Valencia Luisa
23	X		24 Hrs	Vivienda Nº 23	0.36	Villa Dueñas Felicita
24	X		24 Hrs	Vivienda Nº 24	0.13	Cayetano Perez Lucia
25	X		24 Hrs	Vivienda Nº 25	0.15	Rojas Maytuna Ursula
26	X		24 Hrs	Vivienda Nº 26	0.20	Escobar Riveros Juan
27	X		24 Hrs	Vivienda Nº 27	0.37	Machuca Perez Juan
28	X		24 Hrs	Vivienda Nº 28	0.20	Rivera de la Cruz Lidia
29	X		24 Hrs	Vivienda Nº 29	0.26	Rojas Oñoñe Felicita
30	X		24 Hrs	Vivienda Nº 30	0.24	Chuncha Cuasma Blanca

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA PRESIDENTE HUANCAVELICA

Carlos Elmer Riveros Chuquitoyo
DNI: 19811657
Presidente de comunidad

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA PRESIDENTE JASS HUANCAVELICA

Abdon Zenon Valencia Villa
DNI: 23213131
Presidente JASS

Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE CONTROL DE PARAMETROS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Tesis: Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

LOCALIDAD : Sacsamarca	DISTRITO : Huancavelica	PROVINCIA : Huancavelica	DEPARTAMENTO : Huancavelica
TIPO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE : Gravedad sin tratamiento SGST			
NOMBRE DEL PRESTADOR : Junta Administradora de Servicios de Saneamiento "Sacsamarca"			
TIPO DE SISTEMA DE CLORACIÓN: Autocompensante		INSUMO EMPLEADO : Cloro granulado al 65-70%	
N° DE HABITANTES: 171 hab	N° VIVIENDAS HABITADAS: 54 viviendas		AÑO: 2021

Nº	SISTEMA FUNCIONANDO		CONTINUIDAD HRS/DÍA	PUNTO DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO	APELLIDOS Y NOMBRES JEFE(A) DE FAMILIA
	SI	NO			CLORO RESIDUAL (mg/L)	
31	X		24 Hrs	Vivienda Nº 31	0.24	Rojas Poma Silvia
32	X		24 Hrs	Vivienda Nº 32	0.20	Flores Ñahui Manuel
33	X		24 Hrs	Vivienda Nº 33	0.34	Huaytroza Poma Carlos
34	X		24 Hrs	Vivienda Nº 34	0.24	Huaman Curi Ana
35	X		24 Hrs	Vivienda Nº 35	0.33	Valenzia Huaman Lili
36	X		24 Hrs	Vivienda Nº 36	0.21	Justina Curo Paucar
37	X		24 Hrs	Vivienda Nº 37	0.13	Paucar Quispe Armonia
38	X		24 Hrs	Vivienda Nº 38	0.12	Perez Huaman Sandro
39	X		24 Hrs	Vivienda Nº 39	0.14	Cusaca Flores Juan
40	X		24 Hrs	Vivienda Nº 40	0.22	Riveros Flores Cristian

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA PRESIDENTE HUANCAVELICA

Carlos Exner Riveros Chahuayo
DNI: 19811657
Presidente de comunidad

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA PRESIDENTE HUANCAVELICA

Alvaro Zenon Valencia Villa
DNI: 23213131
Presidente JASS

Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE CONTROL DE PARAMETROS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Tesis: Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

LOCALIDAD : Sacsamarca	DISTRITO : Huancavelica	PROVINCIA : Huancavelica	DEPARTAMENTO : Huancavelica
TIPO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE : Gravedad sin tratamiento SGST			
NOMBRE DEL PRESTADOR : Junta Administradora de Servicios de Saneamiento "Sacsamarca"			
TIPO DE SISTEMA DE CLORACIÓN: Autocompensante		INSUMO EMPLEADO : Cloro granulado al 65-70%	
N° DE HABITANTES: 171 hab	N° VIVIENDAS HABITADAS: 54 viviendas		AÑO: 2021

Nº	SISTEMA FUNCIONANDO		CONTINUIDAD HRS/DÍA	PUNTO DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO	APELLIDOS Y NOMBRES JEFE(A) DE FAMILIA
	SI	NO			CLORO RESIDUAL (mg/L)	
41	X		24 Hrs	Vivienda Nº 41	0.37	Jurado Flores Hector
42	X		24 Hrs	Vivienda Nº 42	0.20	Riveros Poma Rene
43	X		24 Hrs	Vivienda Nº 43	0.40	Joaquin Alvarez Ana
44	X		24 Hrs	Vivienda Nº 44	0.31	Villa Reynaldo Rene
45	X		24 Hrs	Vivienda Nº 45	0.20	Alvarez Escobar Alfonso
46	X		24 Hrs	Vivienda Nº 46	0.15	Castro Reynaldo Percy
47	X		24 Hrs	Vivienda Nº 47	0.15	Quispe Felix Gustavo
48	X		24 Hrs	Vivienda Nº 48	0.15	Riveros Solano Margarita
49	X		24 Hrs	Vivienda Nº 49	0.32	Gaspar Riveros Maria
50	X		24 Hrs	Vivienda Nº 50	0.28	Espinoza Fuentes Arturo

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA
PRESIDENTE
HUANCAVELICA

Carlos Elmer Riveros Chanllajo
DNI: 19811657
Presidente de comunidad

COMUNIDAD CAMPESINA SACSAMARCA
PRESIDENTE
JASS
HUANCAVELICA

Raul Zenon Valencia Villa
DNI: 23213131
Presidente JASS

Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE CONTROL DE PARAMETROS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Tesis: Simulación de cloro residual mediante el software WATERCAD en la red de distribución de la comunidad campesina de Sacsamarca, distrito de Huancavelica, 2021.

LOCALIDAD : Sacsamarca	DISTRITO : Huancavelica	PROVINCIA : Huancavelica	DEPARTAMENTO : Huancavelica
TIPO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE : Gravedad sin tratamiento SGST			
NOMBRE DEL PRESTADOR : Junta Administradora de Servicios de Saneamiento "Sacsamarca"			
TIPO DE SISTEMA DE CLORACIÓN: Autocompensante	INSUMO EMPLEADO : Cloro granulado al 65-70%		
N° DE HABITANTES: 171 hab	N° VIVIENDAS HABITADAS: 54 viviendas		AÑO: 2021

Nº	SISTEMA FUNCIONANDO		CONTINUIDAD HRS/DÍA	PUNTO DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO	APELLIDOS Y NOMBRES JEFE(A) DE FAMILIA
	SI	NO			CLORO RESIDUAL (mg/L)	
51	X		24 Hrs	Vivienda Nº 51	0.21	Flores Camac Mariluz
52	X		24 Hrs	Vivienda Nº 52	0.25	Ramos Clemente Daniel
53	X		24 Hrs	Vivienda Nº 53	0.18	Huaman Ñahui Julio
54	X		24 Hrs	Vivienda Nº 54	0.25	Laura Gutierrez Maximo
			24 Hrs	Vivienda Nº		
			24 Hrs	Vivienda Nº		
			24 Hrs	Vivienda Nº		
			24 Hrs	Vivienda Nº		
			24 Hrs	Vivienda Nº		
			24 Hrs	Vivienda Nº		

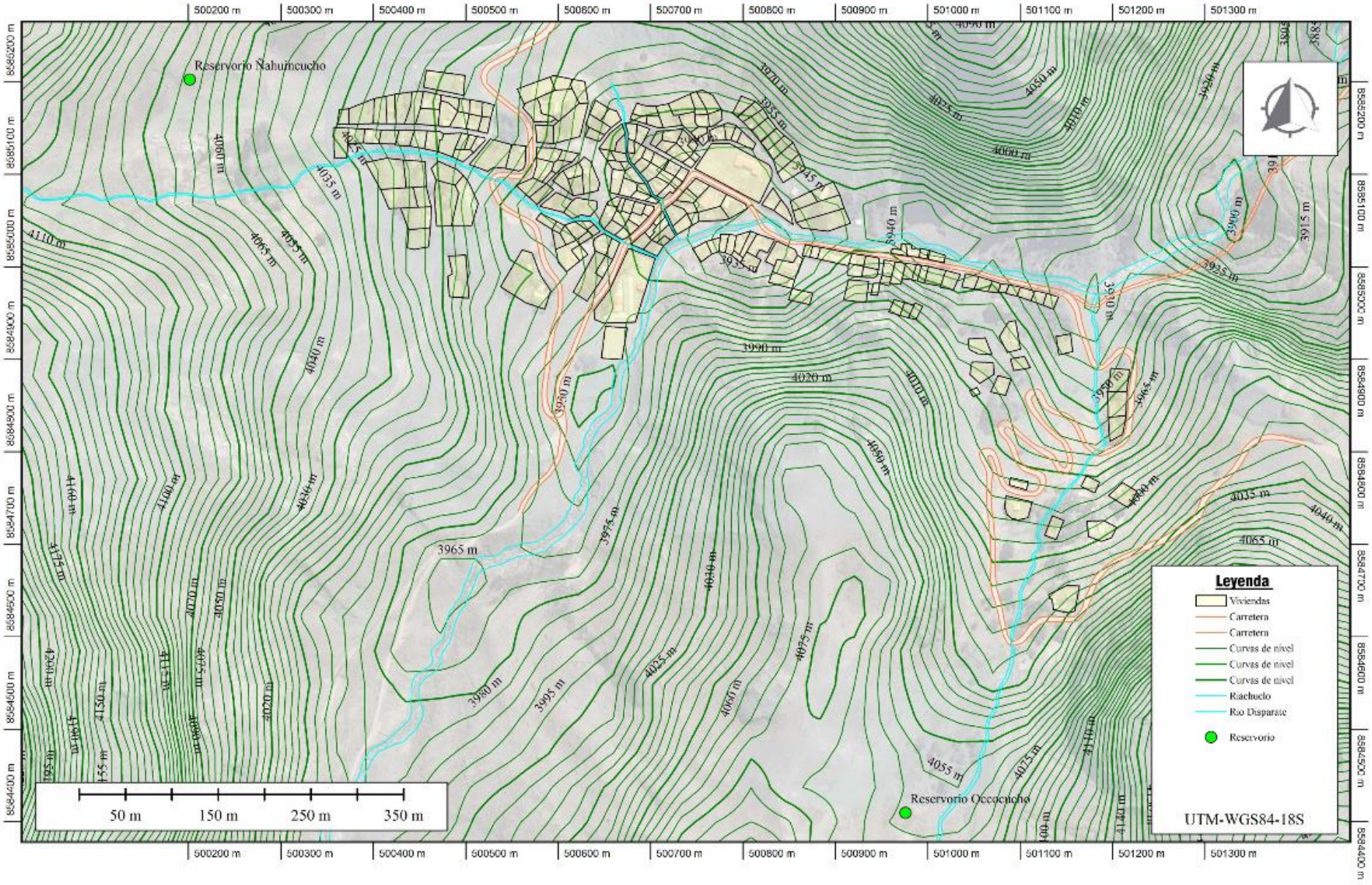
Carlos Elmer Riveros Chahuayo
DNI: 19811657
Presidente de comunidad

Abdon Zenon Valencia Villa
DNI: 23213131
Presidente JASS

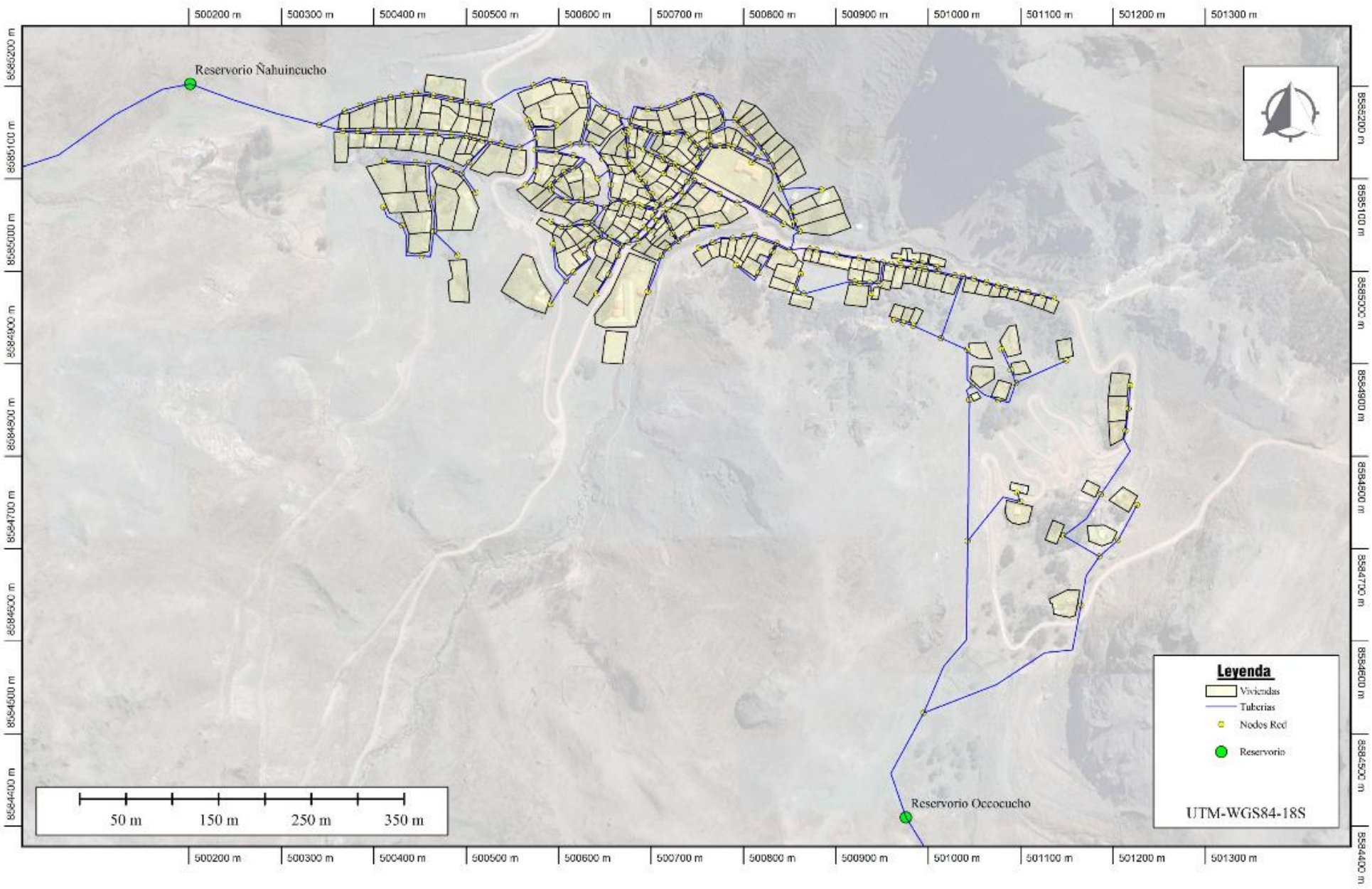
ANEXO 04

Mapa topográfico y configuración de la red de abastecimiento del agua potable

MAPA TOPOGRÁFICO



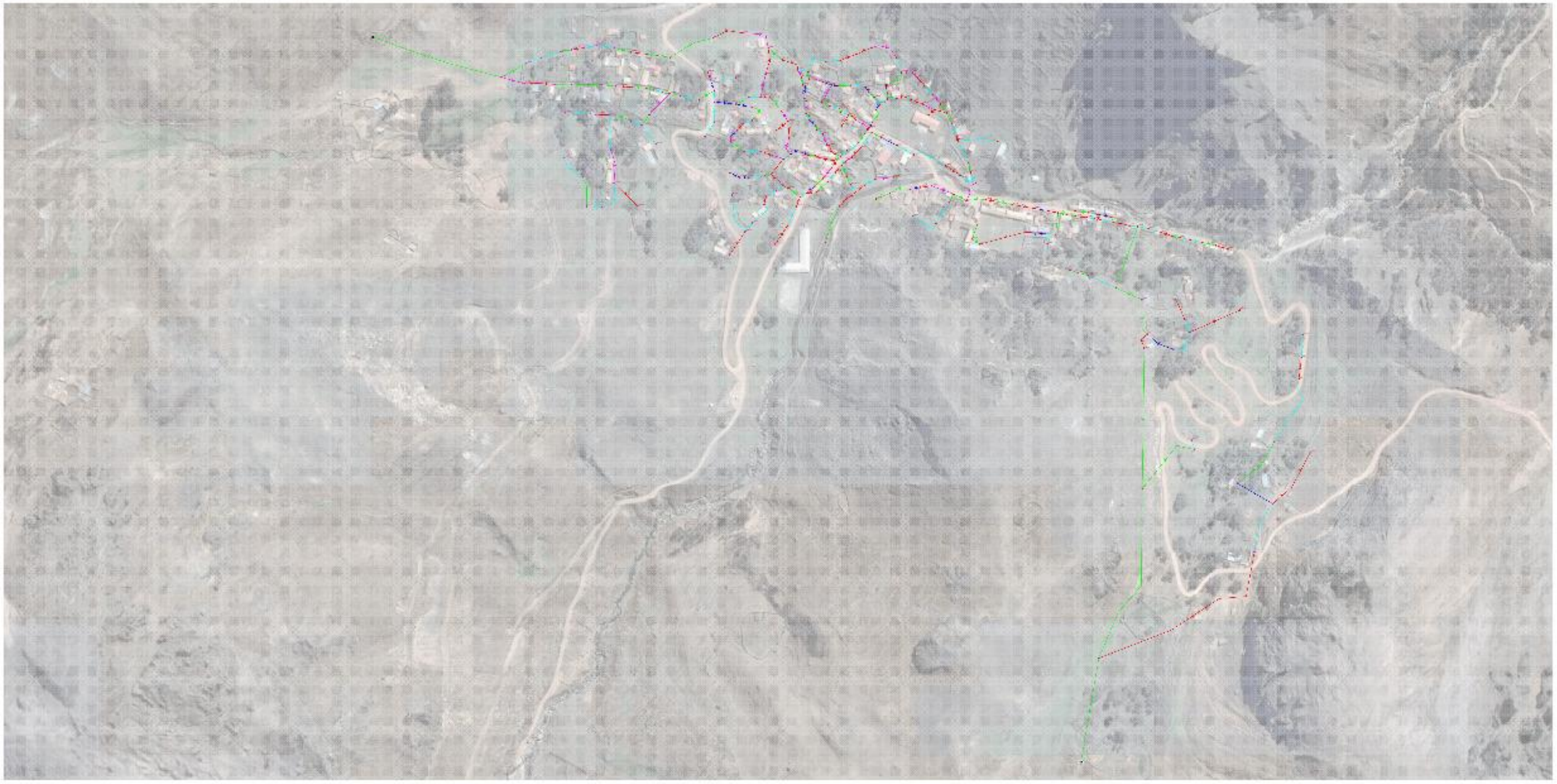
CONFIGURACIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE



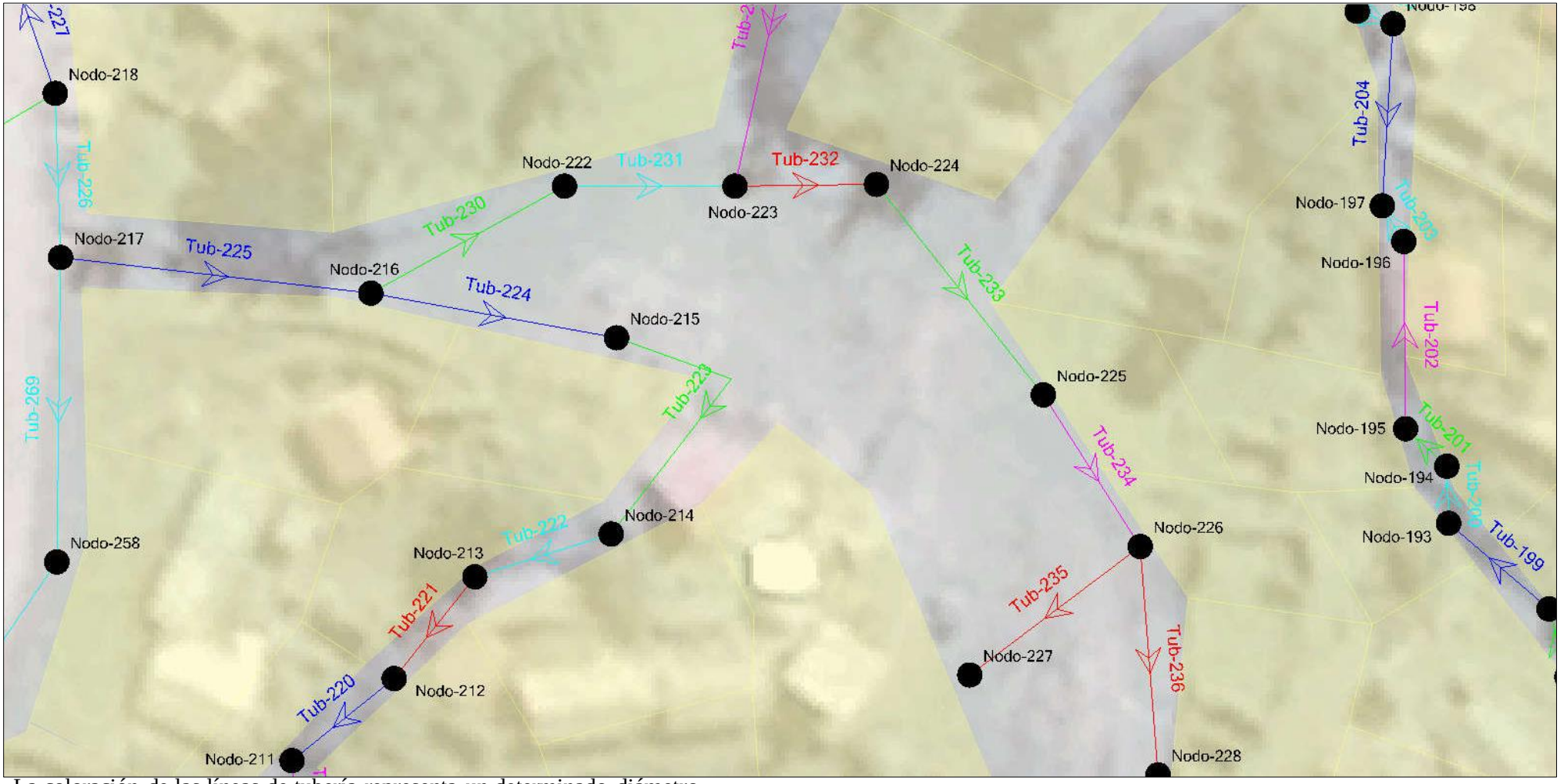
ANEXO 05

Resultados obtenidos mediante WaterCAD

ESQUEMATIZACIÓN DE LAS TUBERÍAS Y NODOS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL SOFTWARE WATERCAD



CONFIGURACIÓN DE NODOS NODOS Y TUBERÍAS PARA UN DETERMINADO SECTOR, MEDIANTE EL SOFTWARE WATERCAD



La coloración de las líneas de tubería representa un determinado diámetro.

ANEXO 06

Comportamiento del cloro residual en la red de abastecimiento de agua potable.

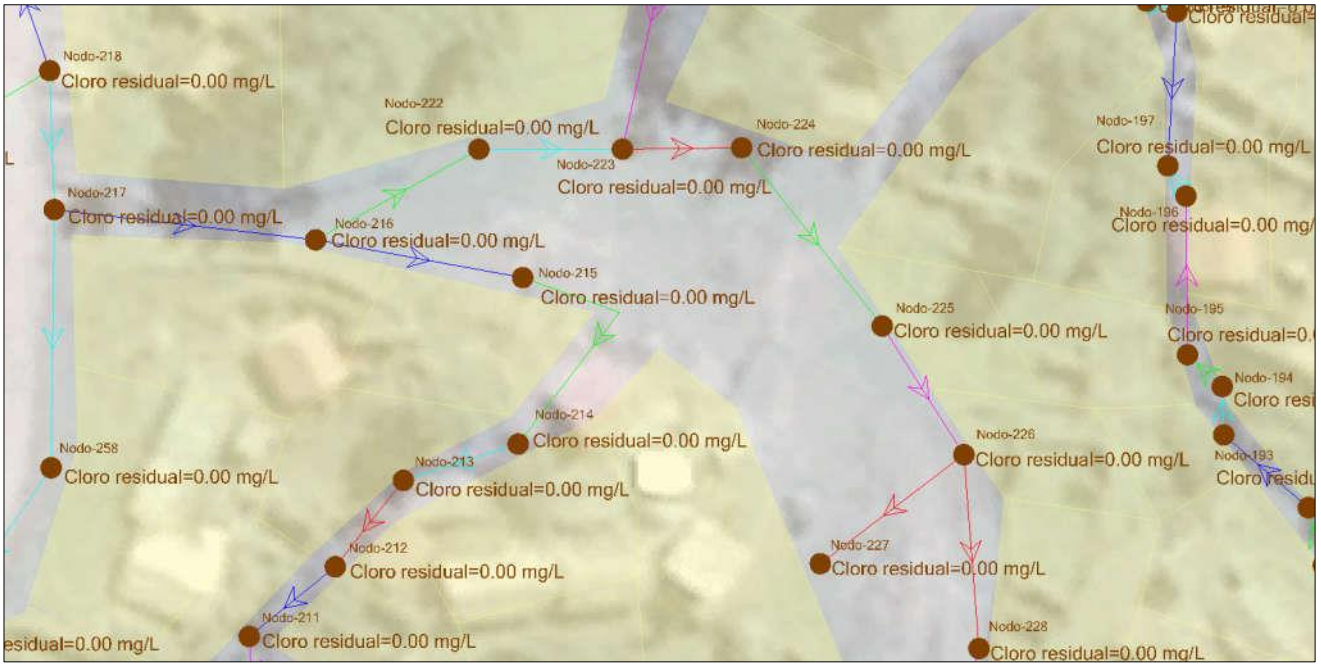


Figura 01. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 0 horas.

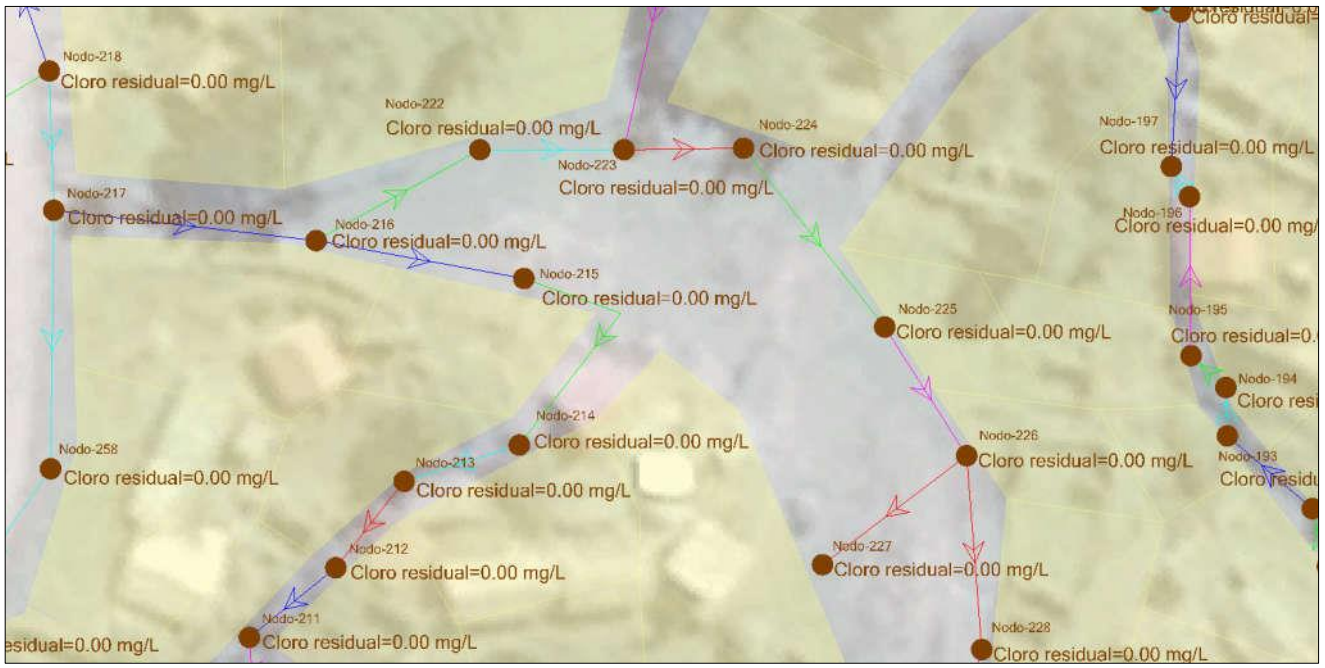


Figura 02. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 1 horas.

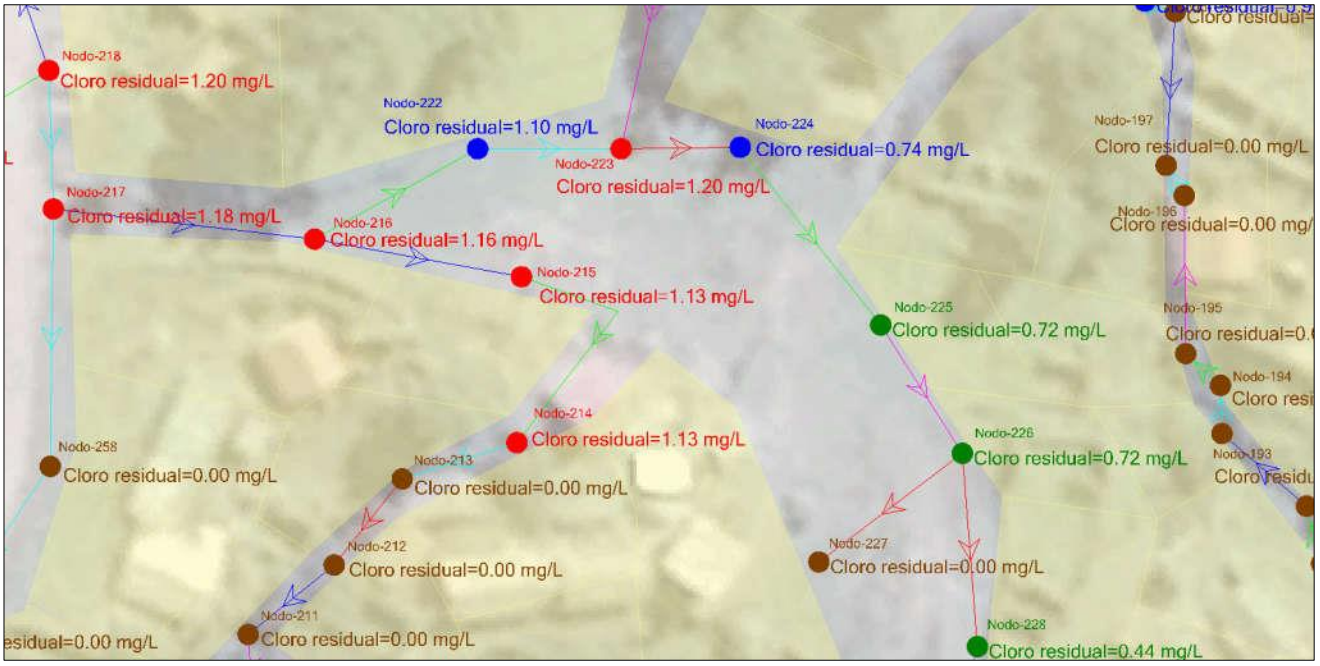


Figura 03. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 2 horas.

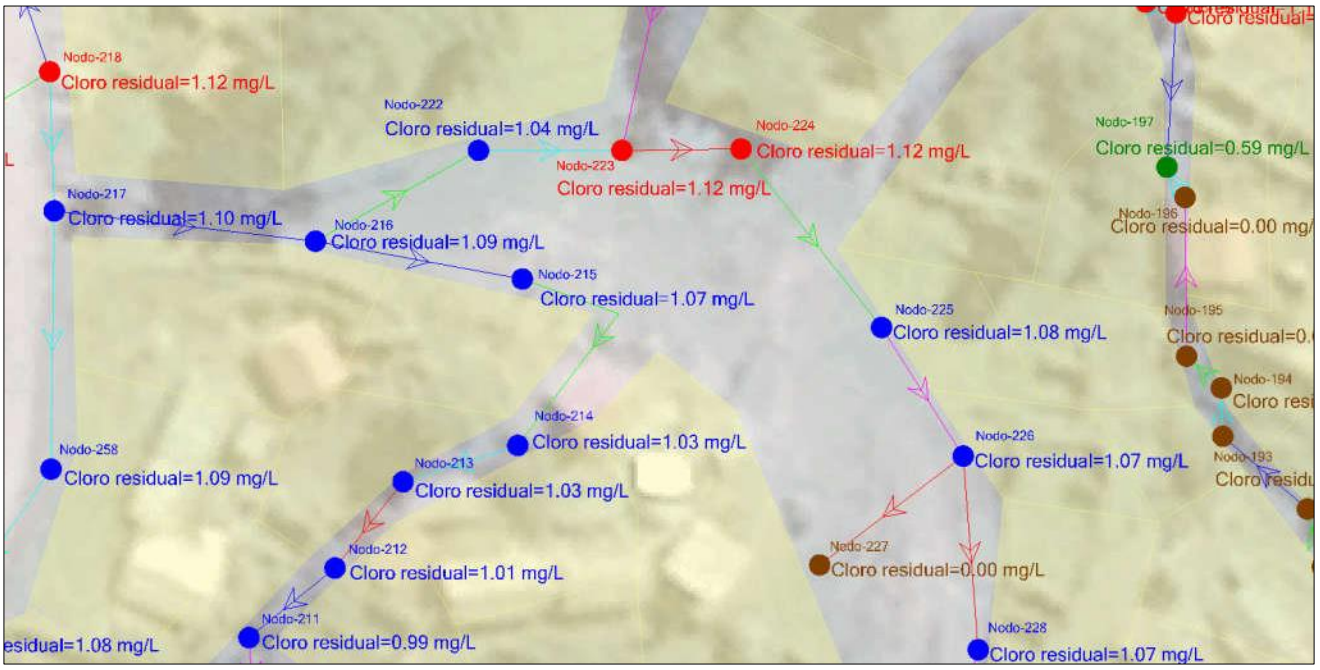


Figura 04. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 3 horas.

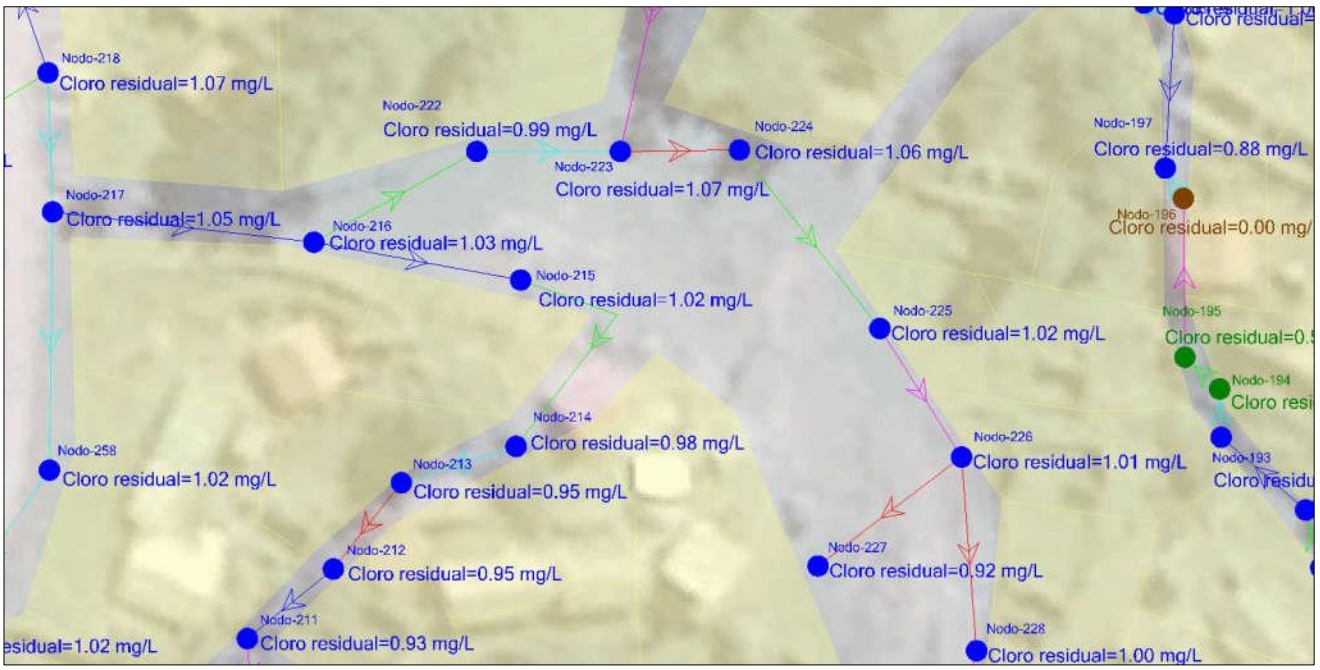


Figura 05. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 4 horas.

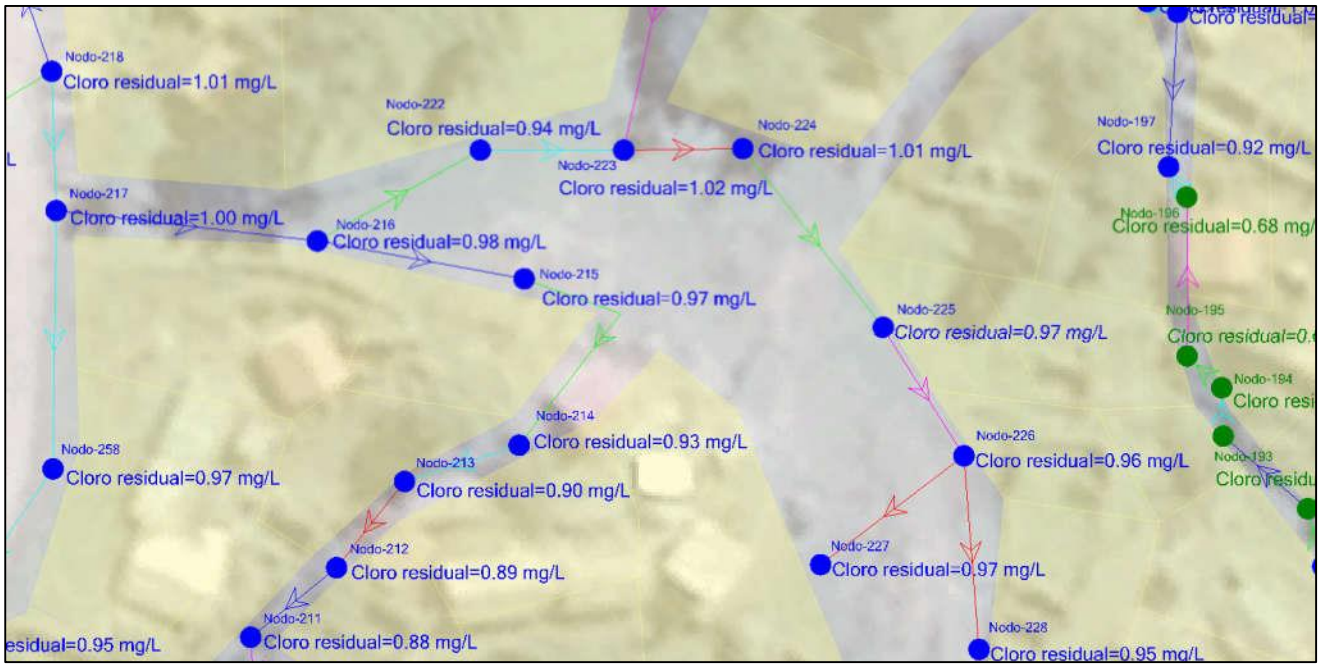


Figura 06. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 5 horas.

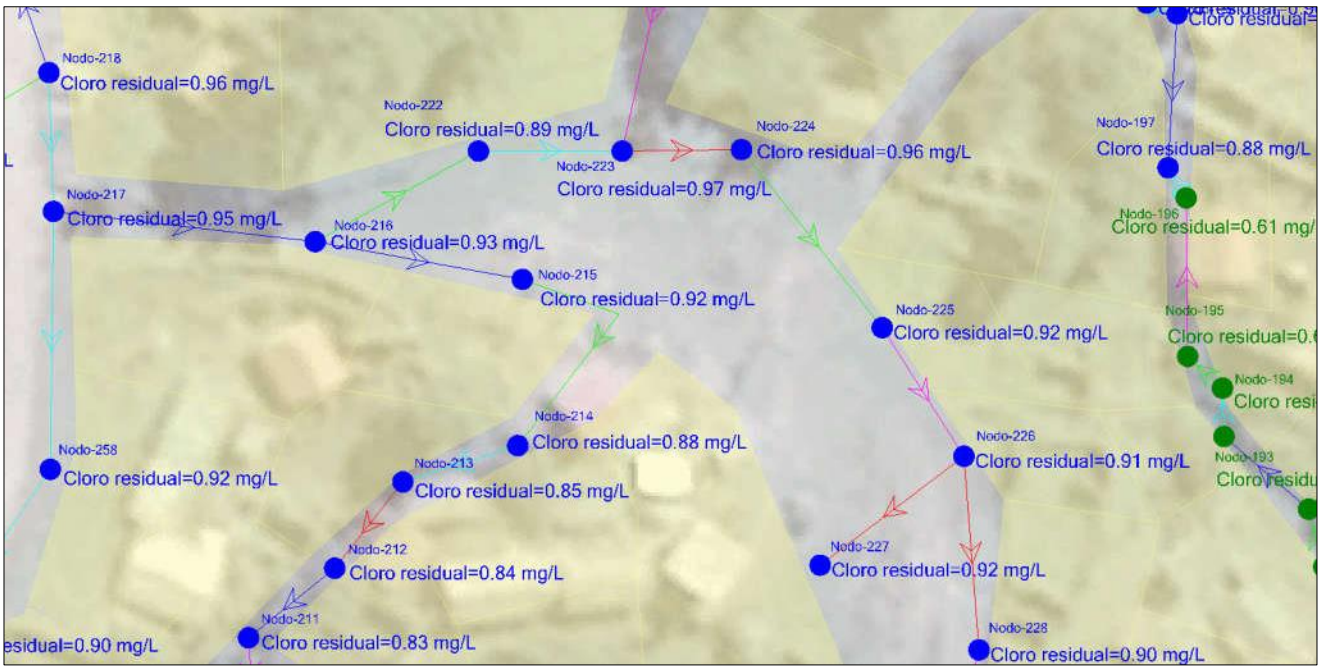


Figura 07. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 6 horas.

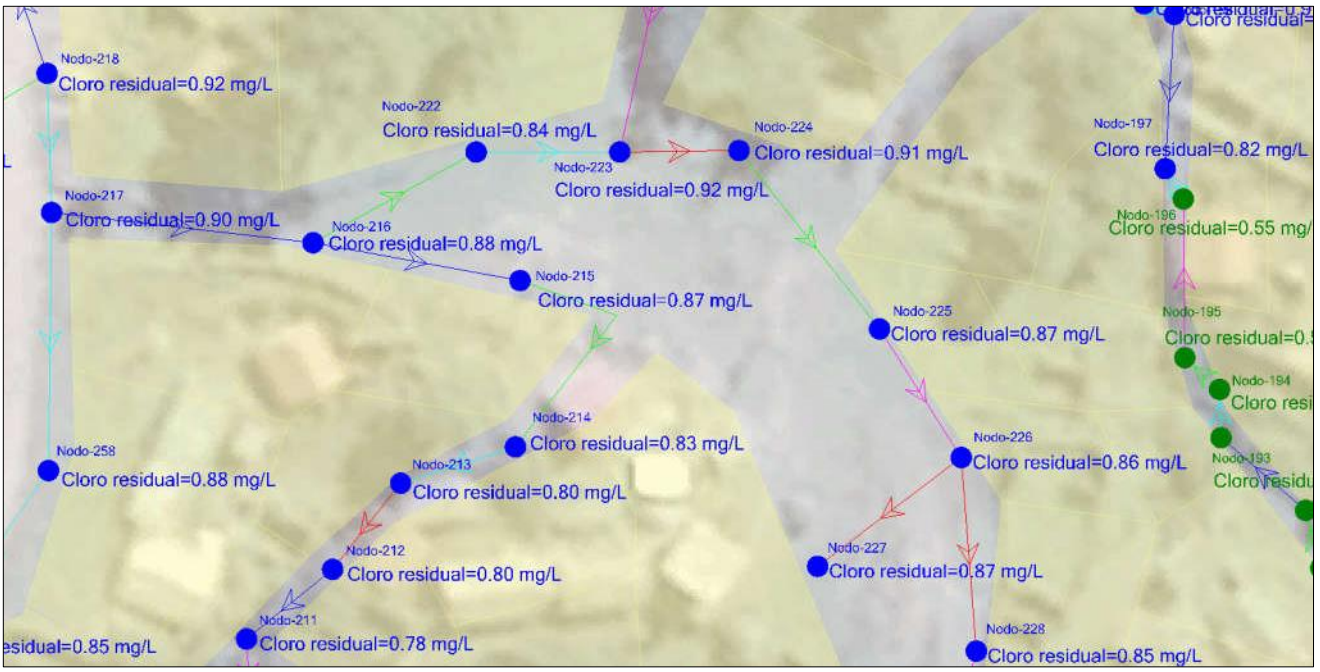


Figura 08. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 7 horas.

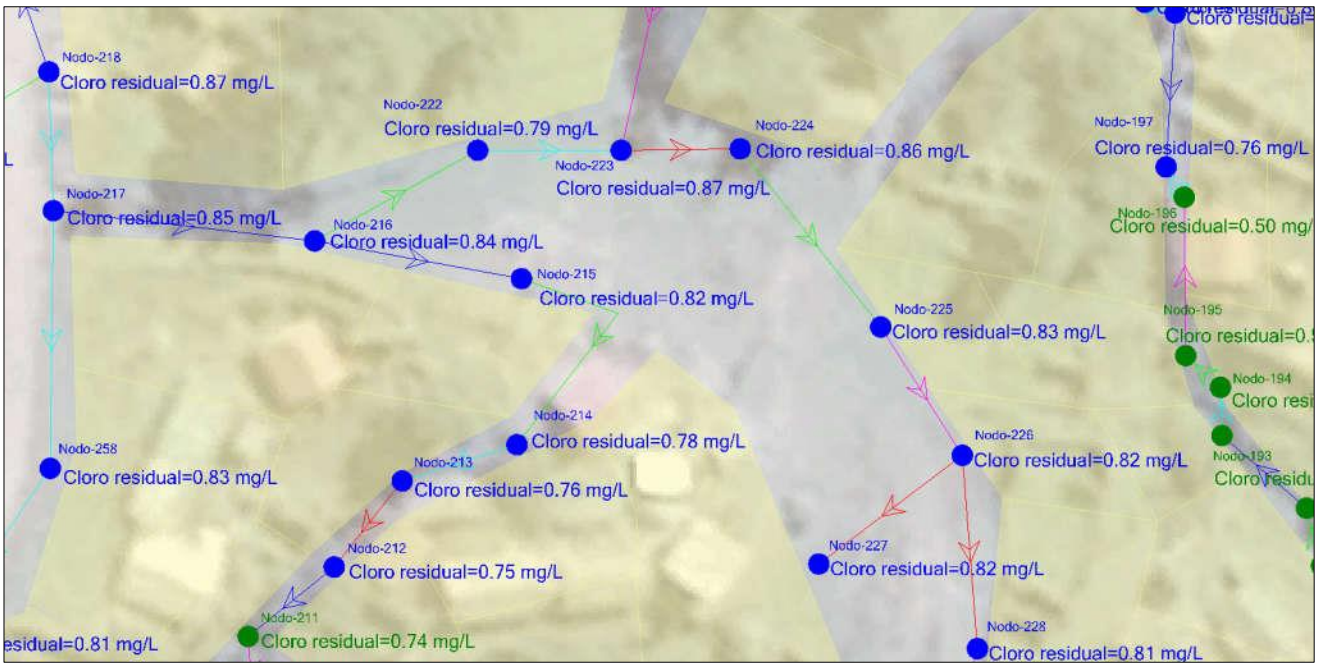


Figura 09. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 8 horas.

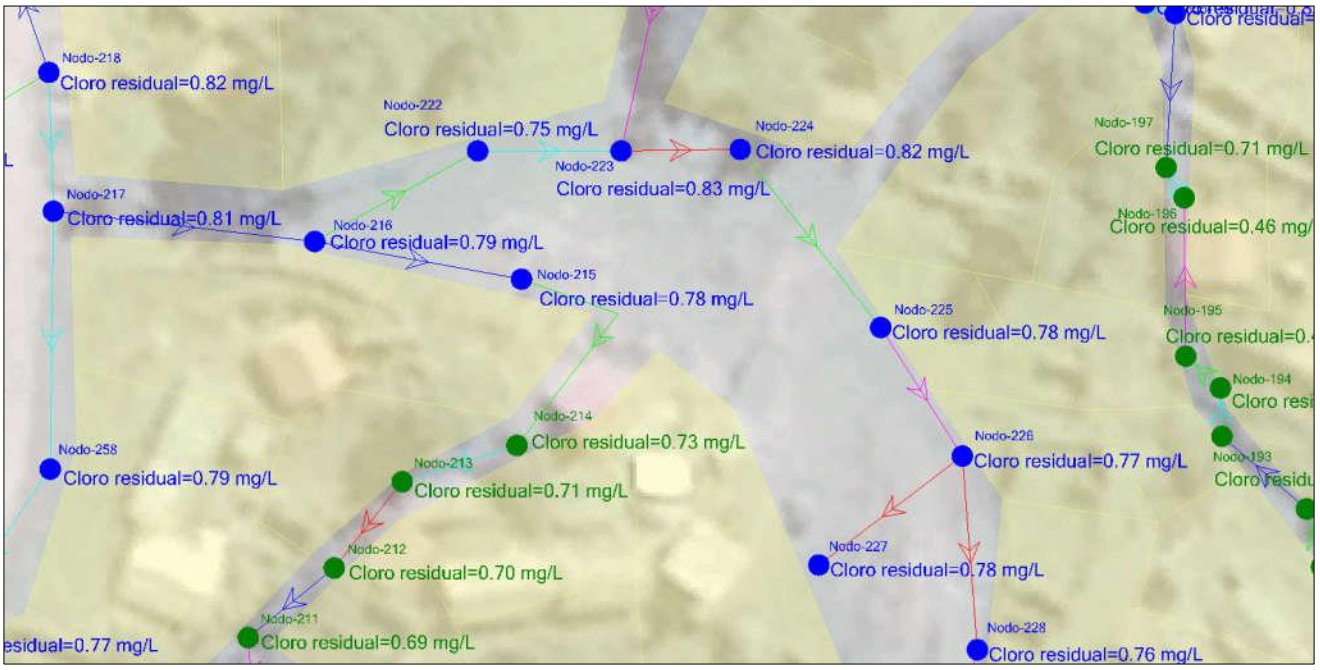


Figura 10. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 9 horas.

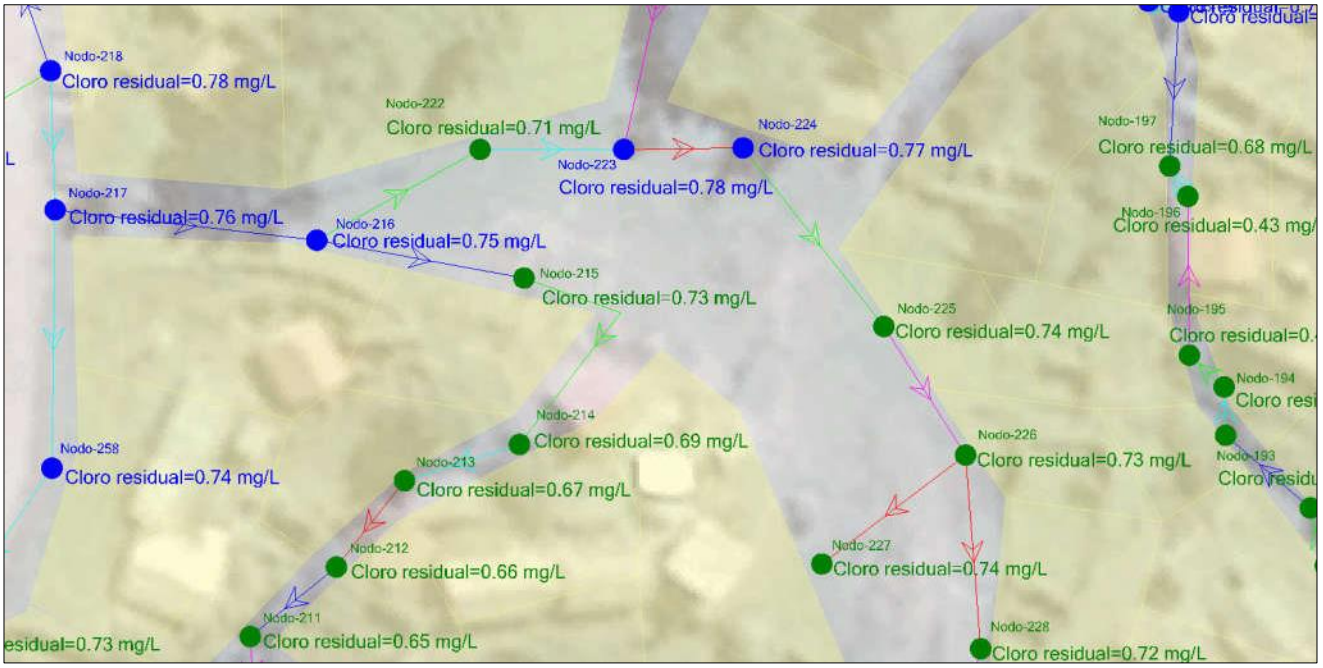


Figura 11. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 10 horas.

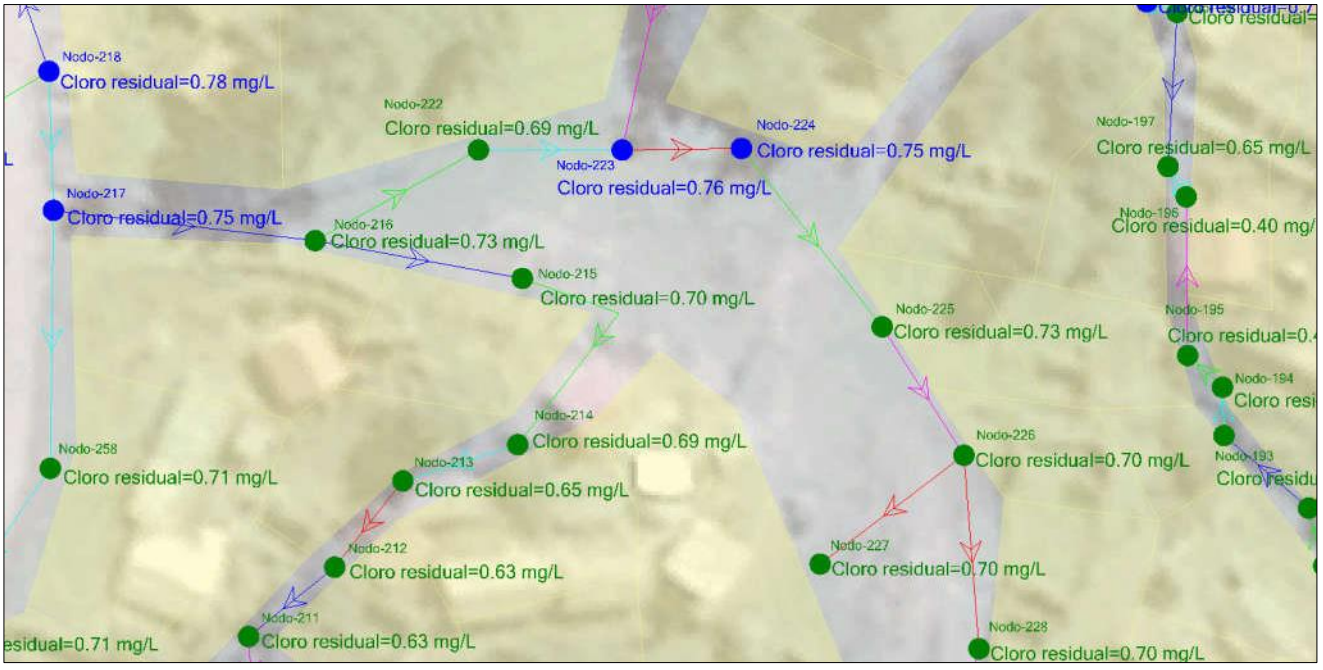


Figura 12. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 11 horas.

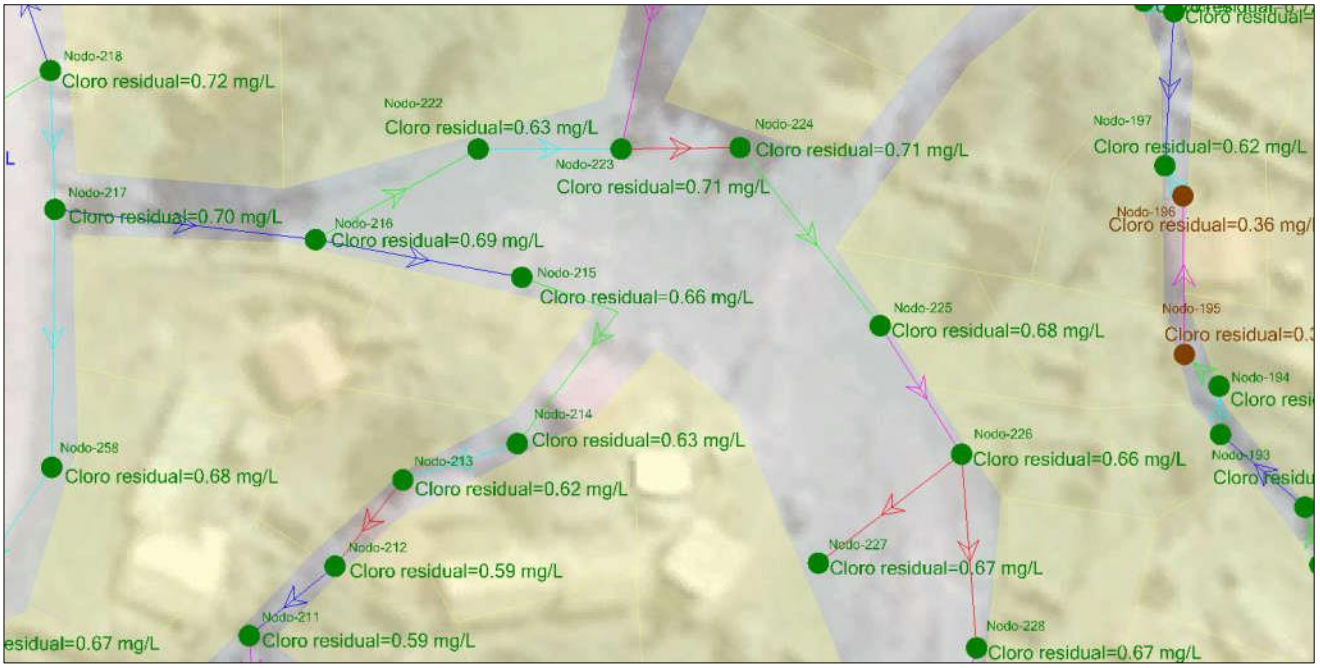


Figura 13. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 12 horas.

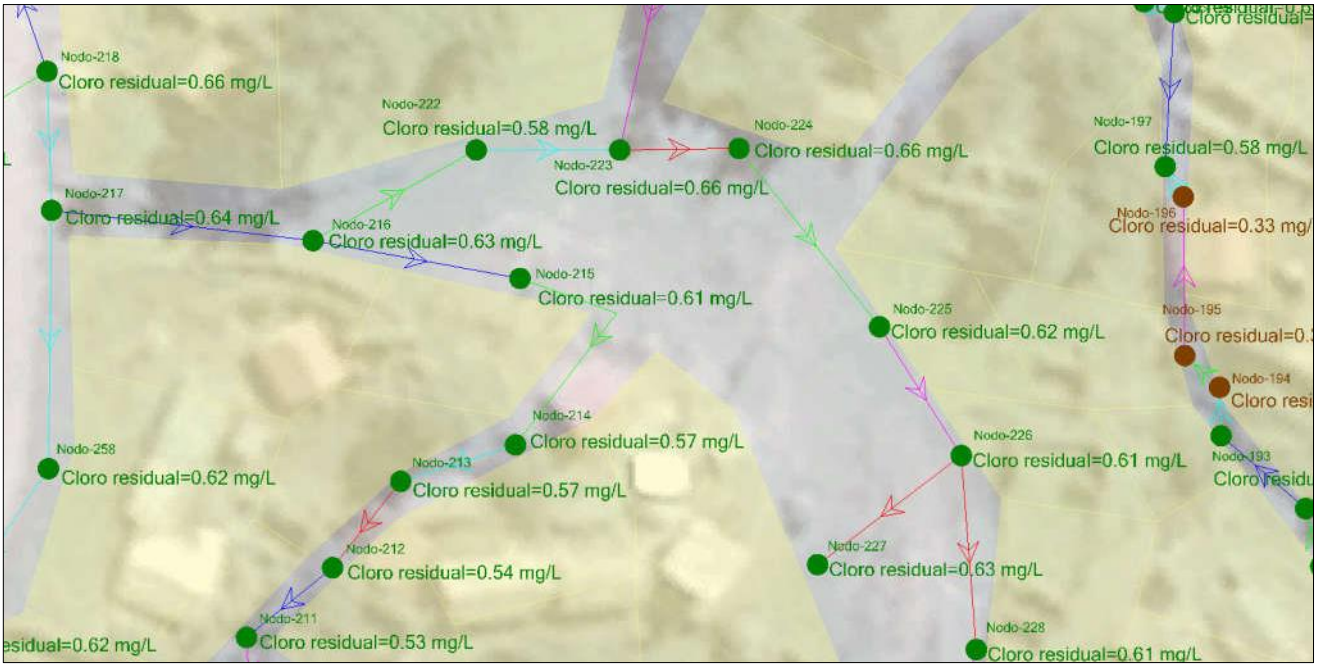


Figura 14. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 13 horas.

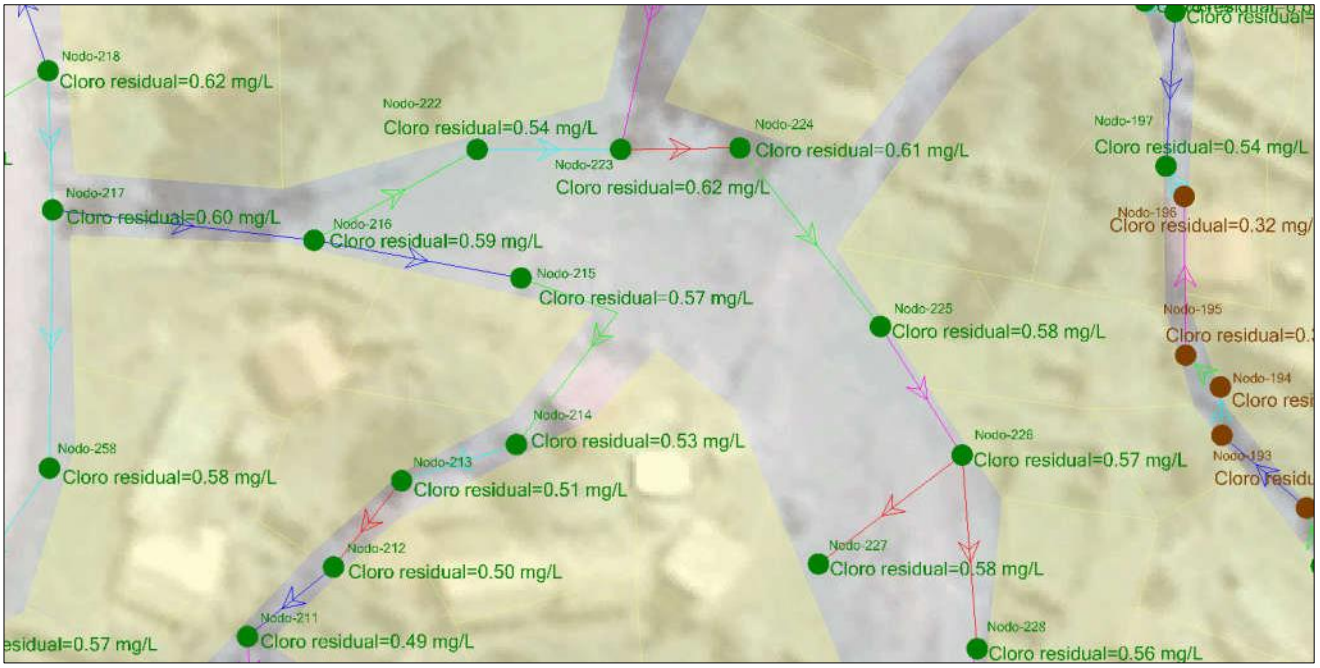


Figura 15. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 14 horas.

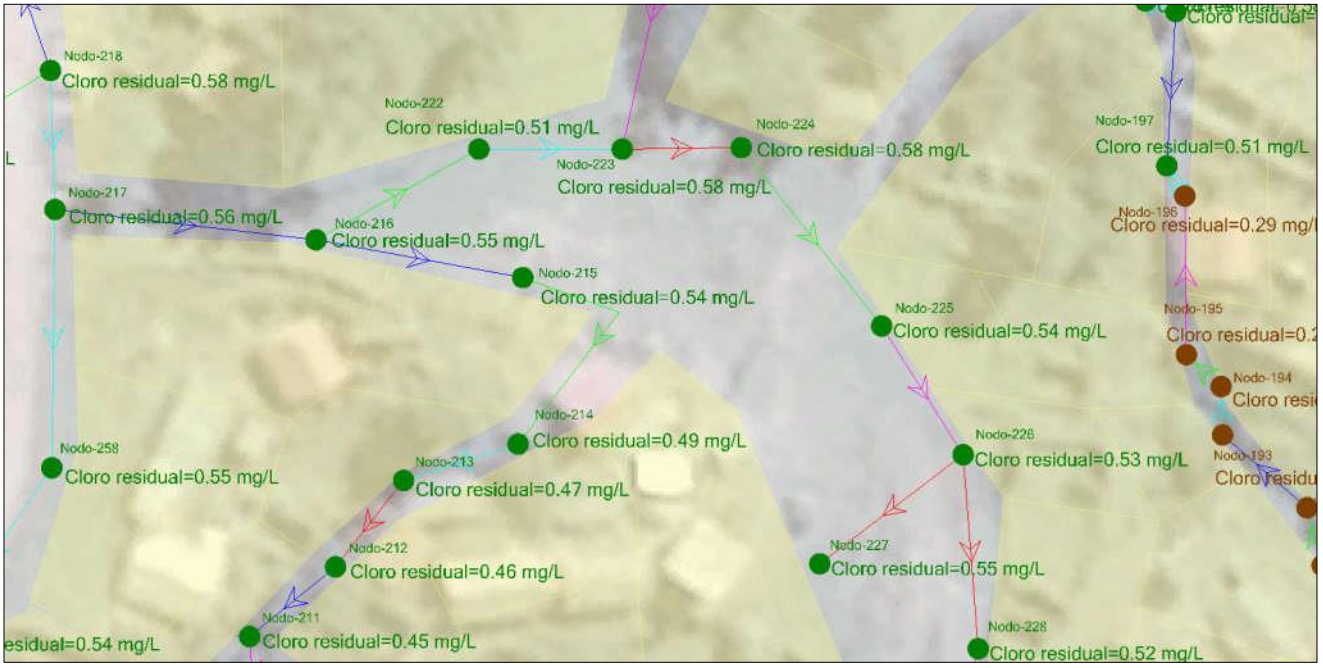


Figura 16. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 15 horas.

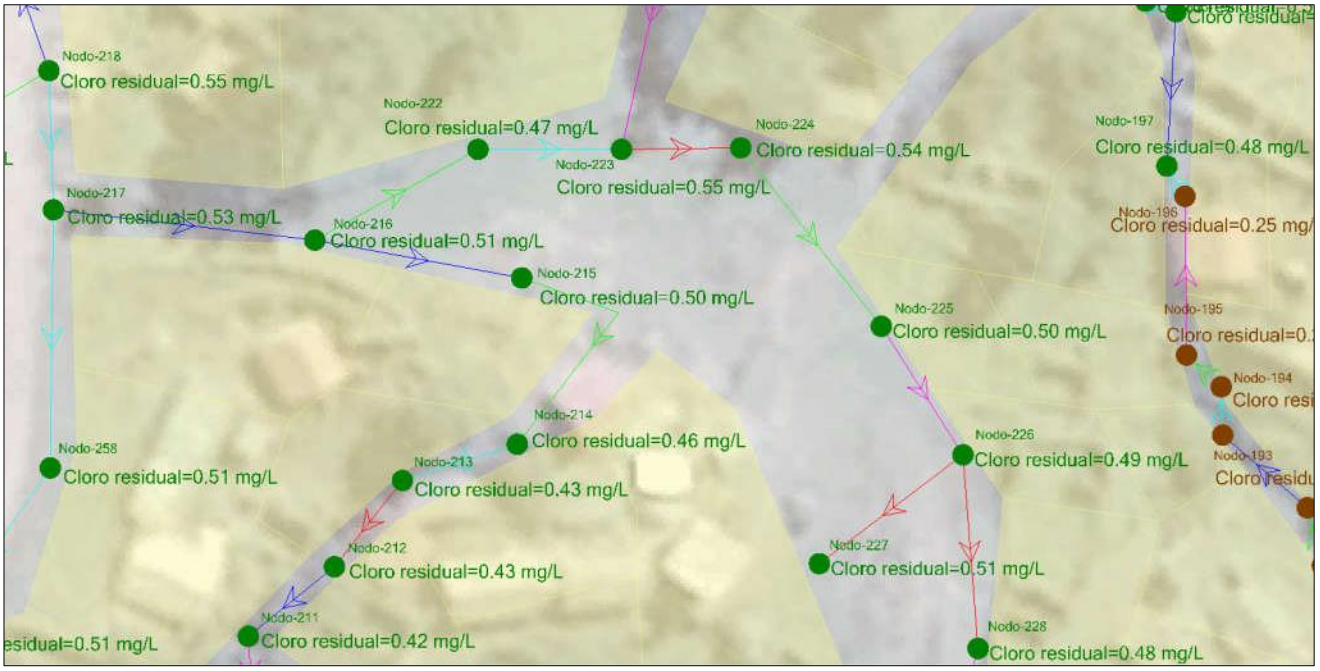


Figura 17. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 16 horas.

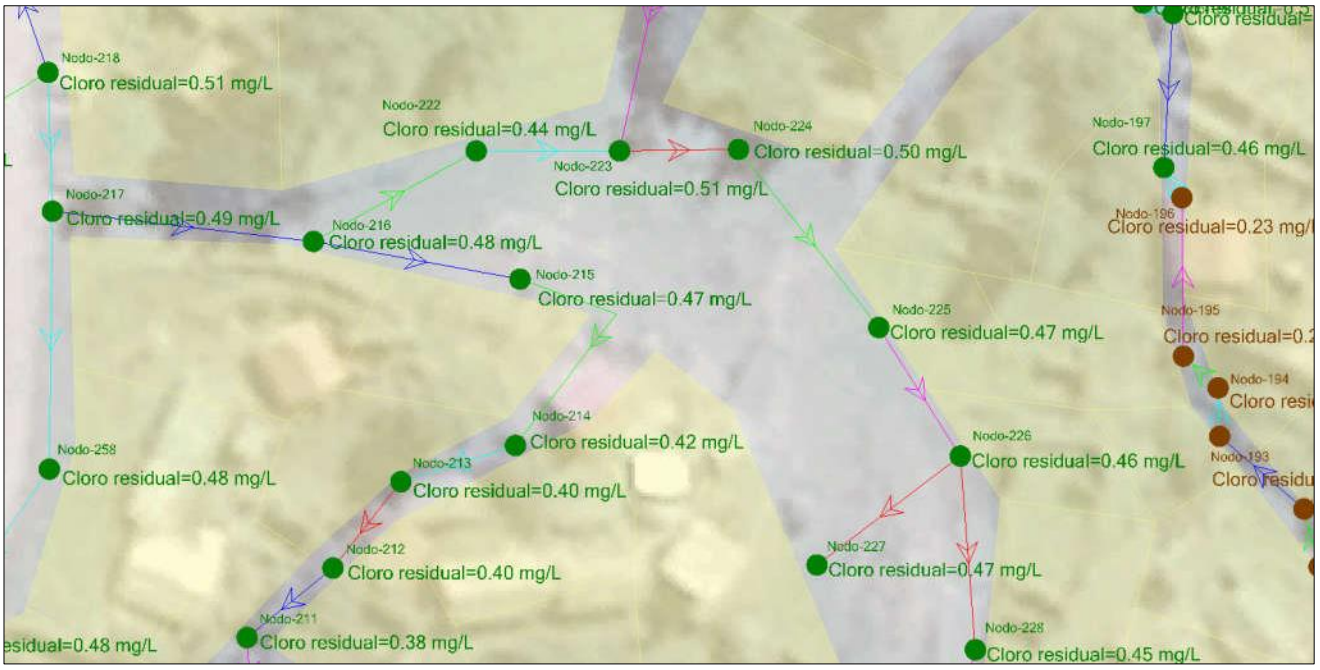


Figura 18. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 17 horas.

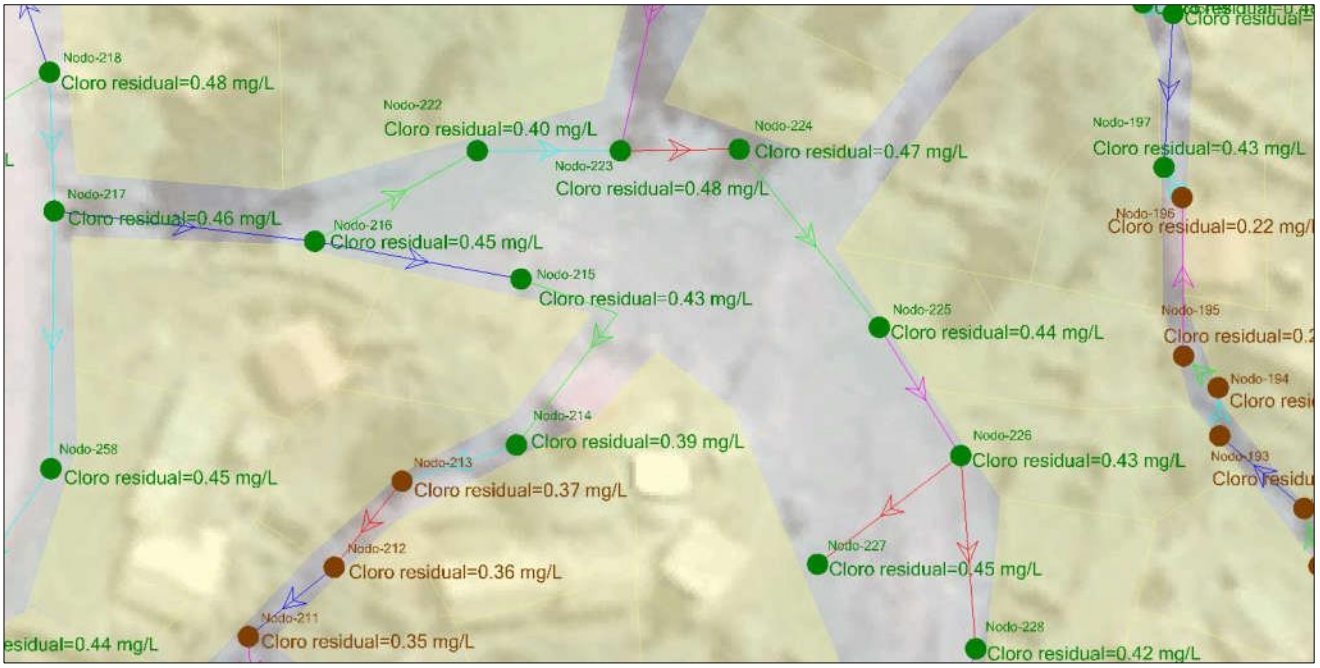


Figura 19. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 18 horas.

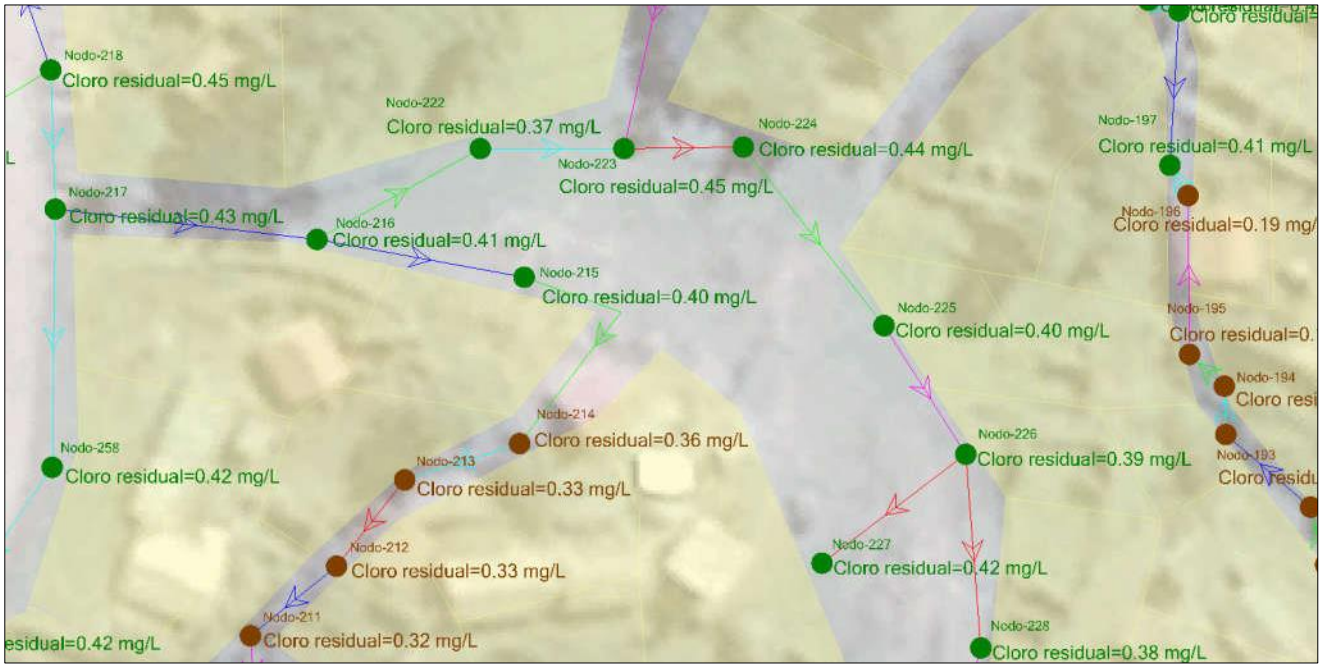


Figura 20. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 19 horas.

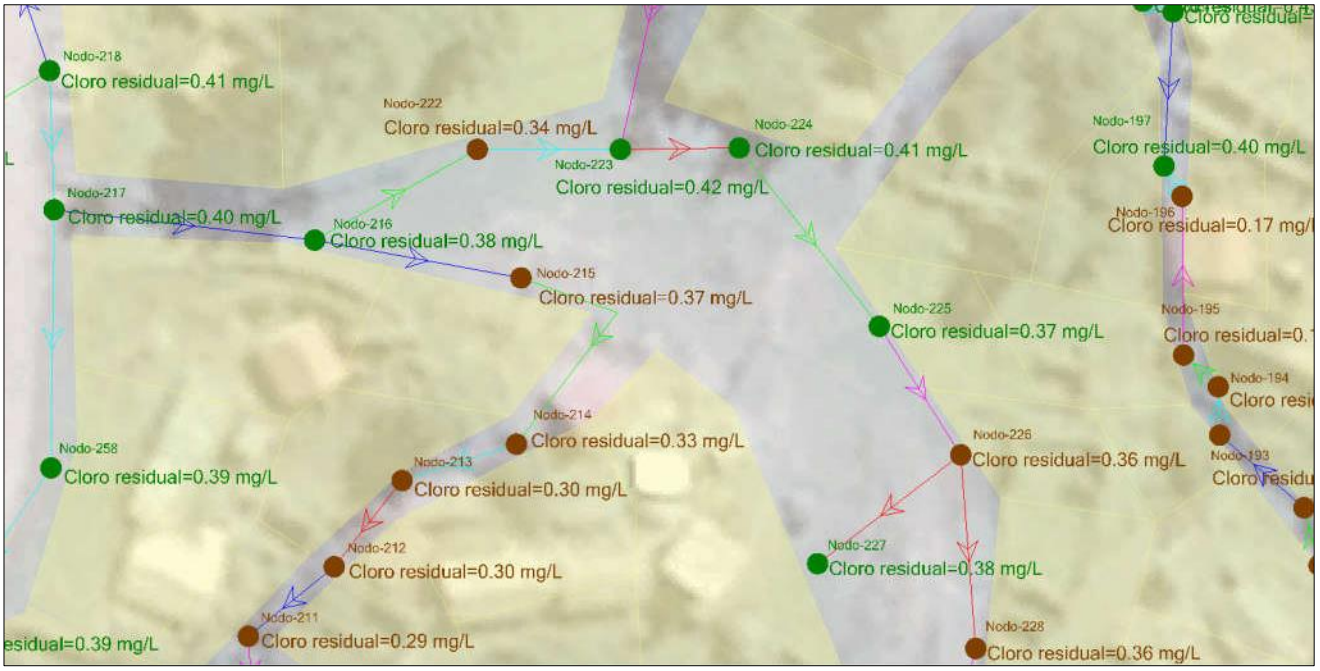


Figura 21. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 20 horas.

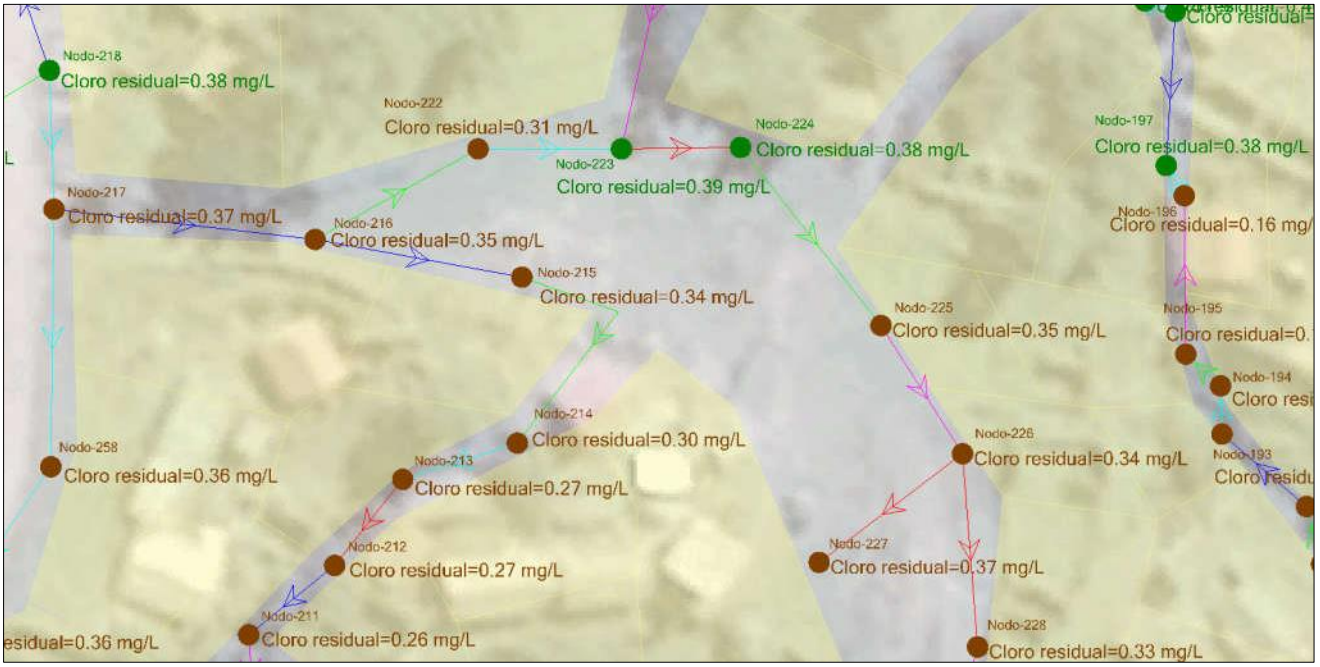


Figura 22. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 21 horas.

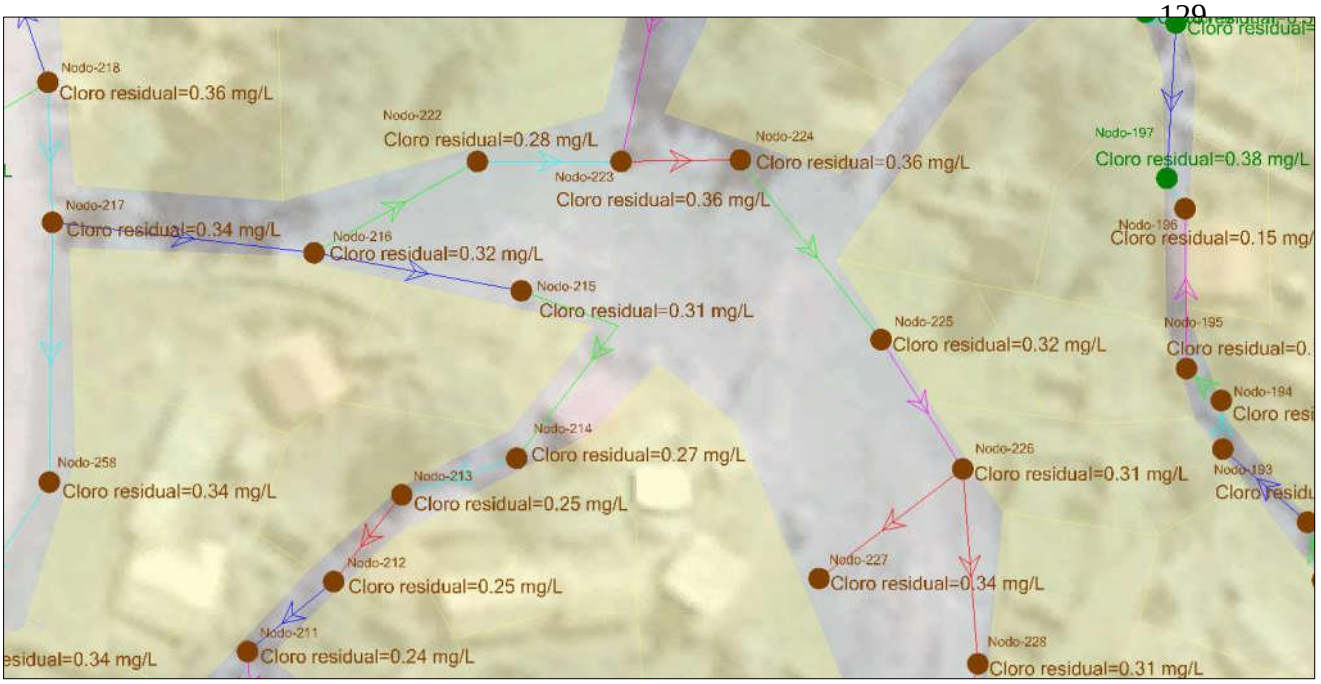


Figura 23. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 22 horas.

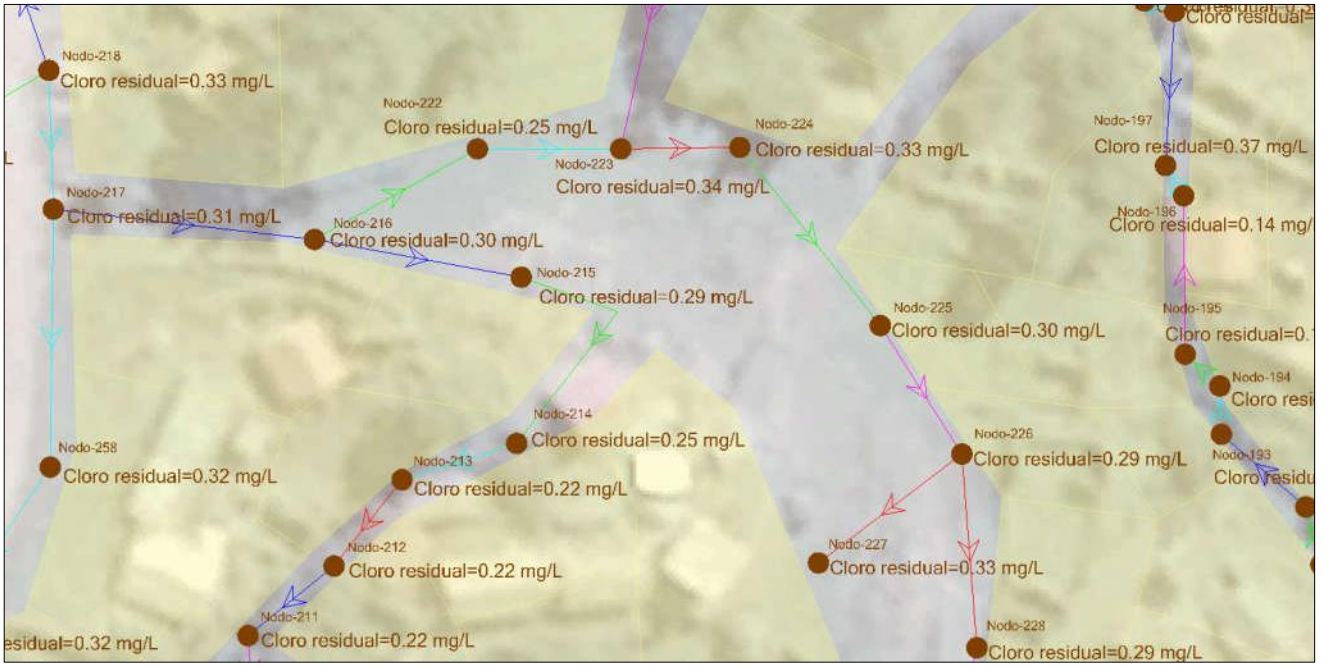


Figura 24. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 23 horas.

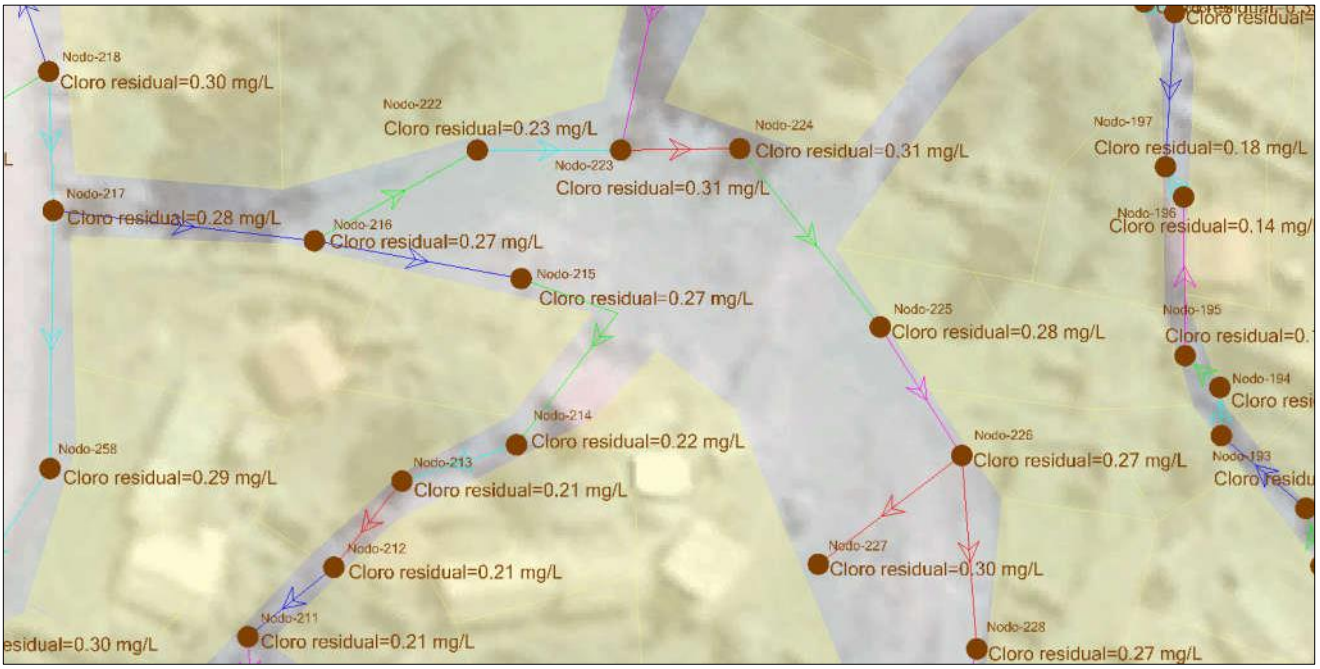
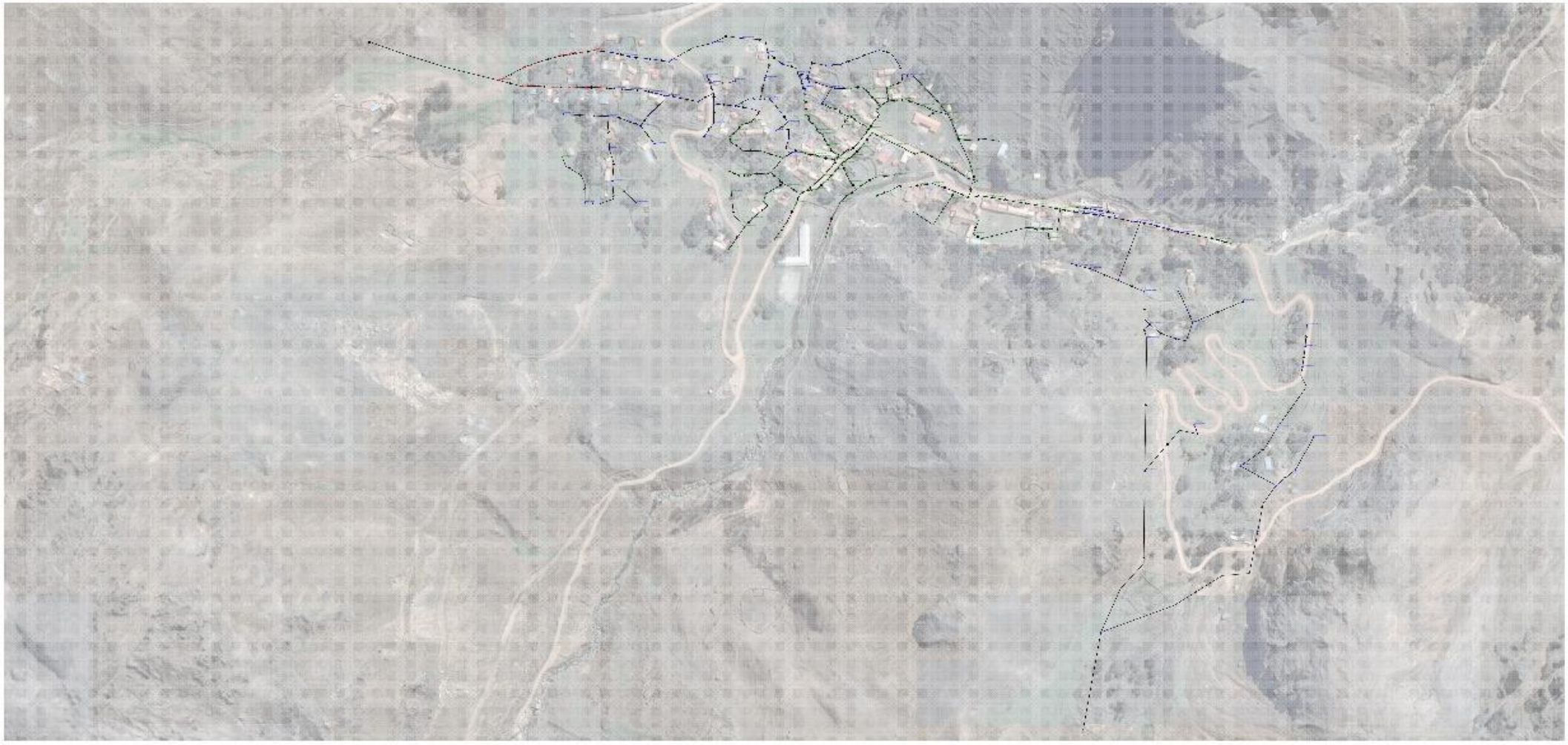


Figura 25. Concentración del cloro residual para el paso de tiempo T = 24 horas.

COMPORTAMIENTO DEL CLORO RESIDUAL PARA EL PASO DE TIEMPO T = 9 HORAS



PANEL FOTOGRAFICO

PANEL FOTOGRÁFICO 01

Identificación de los componentes de la red de distribución de agua potable de la comunidad campesina de Sacsamarca

Foto 01. Consulta a un poblador de la zona, sobre la ubicación de los reservorios.

Foto 02. Identificación del estado situacional del Reservorio Occocucho.

Foto 03. Identificación del estado situacional del reservorio Ñahuincucho.

Foto 04. Caseta de cloración del reservorio Ñahuincucho.

Foto 05. Sistema de cloración del Reservorio Ñahuincucho.

Foto 06. Reservorio Ñahuincucho, condición de la cámara de almacenamiento.

Foto 07. Verificando operatividad del sistema de cloración del reservorio Ñahuincucho.

PANEL FOTOGRÁFICO 02

Procedimiento de realización de encuesta en el lugar de estudio

Foto 01. Encuesta realizada a Riveros Escobar Eladio.

Foto 02. Encuesta realizada a don Paucar Quispe Antonio.

Foto 03. Encuesta realizada a Paucar Carbajal Gladis.

Foto 04. Encuesta realizada a Pérez Torres Patricia.

Foto 05. Encuesta realizada a Otañe Curo Manuela.

Foto 06. Encuesta realizada a Laura Rivera Ana.

PANEL FOTOGRÁFICO 03

Procedimiento de registro del cloro residual en las piletas de las viviendas que forman parte de la muestra poblacional

Foto 01. Registro de cloro residual en la vivienda N° 23

Foto 02. Registro de cloro residual en la vivienda N° 18

Foto 03. Registro de cloro residual en la vivienda N° 42

Foto 04. Registro de cloro residual en la vivienda N° 35

Foto 05. Registro de cloro residual en el reservorio Ñahuincucho

Foto 06. Registro de cloro residual en el reservorio Ñahuincucho

Foto 07. Registro de cloro residual en la vivienda N° 52

Foto 08. Registro de cloro residual en la vivienda N° 05

PANEL FOTOGRÁFICO 04

Capacitación a los pobladores de la comunidad campesina de Sacsamarca, sobre la importancia de la calidad del agua para consumo humano

Foto 01. Capacitación a pobladores, sobre la importancia de la calidad del agua.

Foto 02. Capacitación a pobladores, sobre los agentes contaminantes del agua.

.

Foto 03. Capacitación a los pobladores sobre el proceso de desinfección del agua por cloración

Foto 04. Capacitación a los pobladores sobre la importancia del cuidado de las fuentes de agua

Foto 05. Capacitación a los pobladores sobre la importancia de la cloración del agua

Foto 06. Capacitación a los pobladores sobre la importancia de la calidad del agua para consumo humano.