

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD

DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**EVALUACION DE EFICIENCIAS DE LOS MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DE
AGUA POTABLE DOBLE TANQUE Y VENTURI MEDIANTE MODELADO Y
SIMULACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE
JASS TANKARPATA - 2022**

Presentada por:

Br. Luis Alberto Jara Quispe

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO QUÍMICO

Asesor:

Ing. Washington Julio Lechuga Canal

CUSCO – PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado:..EVALUACIÓN DE EFICIENCIAS DE LOS MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE DOBLE TANQUE Y VENTURI MEDIANTE MODELADO ..Y..SIMULACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE JASS TANKARPATA -.2022".....

presentado por: LUIS ALBERTO JARA QUISPE

con Nro. de DNI: 40676255, para optar el título profesional/grado académico de..... Ingeniero Químico

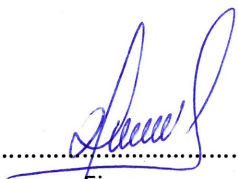
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por.....⁰¹ veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de.....^{2%}.....

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco,.....²² de..... abril..... de 20.....²⁴.....



.....
Firma
Post firma..... Washington Julio Lechuga Canal

Nro. de DNI..... 23801349

ORCID del Asesor..... 0000-0003-1967-1720

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:348631044

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis desinfeccion por doble tanque y venturi Jass Tankarpata - Jara Quispe.pdf

AUTOR

Jara Quispe Luis Alberto

RECUENTO DE PALABRAS

21850 Words

RECUENTO DE CARACTERES

117066 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

122 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.9MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 19, 2024 10:51 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 19, 2024 10:53 PM GMT-5**● 2% de similitud general**

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

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores Miembros del Jurado.

De conformidad con el Estatuto Universitario y el Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Facultad de Ingeniería de Procesos y con el propósito de optar al Título Profesional de Ingeniero Químico, se pone a vuestra disposición el presente trabajo de tesis titulado:

“EVALUACIÓN DE EFICIENCIAS DE LOS MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE DOBLE TANQUE Y VENTURI MEDIANTE MODELADO Y SIMULACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE JASS TANKARPATA - 2022”

Proyecto de Investigación que tiene como objetivo Evaluar la eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro en agua potable Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano, de esta forma se evaluará que sistema tiene mayor aptitud para ser aplicado en una red de distribución de agua potable, considerando un modelamiento y una simulación de cloro residual que cumpla con los parámetros establecidos.

Expreso mi sincero agradecimiento a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por los conocimientos impartidos durante mi formación.

Cusco, octubre de 2022.

Br. Luis Alberto Jara Quispe

AGRADECIMIENTOS

Con profunda satisfacción agradezco a la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco por haberme acogido y haber recibido una formación en la Escuela profesional de Ingeniería Química.

Agradecer al Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (PNSR), por haberme dado la oportunidad de crecer profesionalmente y haber brindado servicio en las zonas rurales de la Región Cusco.

Mi más sinceros y profundo agradecimiento:

A la Lic.: Carolina Aguilar Armas, por haber confiado en mi persona, y haberme brindado la oportunidad de asumir nuevos retos y experiencias que han permitido crecer mis conocimientos.

Al Biólogo: Omar Gutiérrez Zevallos, por su confianza, por ser un guía profesional y compartir sus experiencias y conocimientos.

A la Ing.: Pilar Torres Escriba, Quien inició con la idea de este trabajo de investigación, que hoy es una realidad y de gran aporte en materia de servicios de saneamiento.

A los Directivos: De la JASS de Tankarpata, quienes nos permitieron compartir esta experiencia del trabajo de investigación, por su apertura y colaboración.

A Mi: Hermana Ruth, quien hoy en día me da el soporte, apoyo y cariño para que cumpla mis metas, mi agradecimiento eterno por ser también un guía en mi vida personal.

A Mi: Madre Elizabet, Quien me trajo a este mundo, quien es mi madre y padre, quien siempre fue soporte de vida, mi agradecimiento eterno, no hay palabras que puedan describir lo agradecido que estoy con ella.

A Mis Hijos: Ximena y Fernando, quienes son mi inspiración de vida.

A Mis: Amigos, compañeros de trabajo, padrinos, compadres y familiares, mi agradecimiento por sus consejos, respaldo y apoyo.

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por ser nuestro creador e inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados en mi vida, a pesar de las dificultades se hizo una realidad.

A mis Padres, Elizabeth y Benigno por su apoyo incondicional.

A mis Hijos Ximena y Fernando, quienes me inspiran a seguir adelante y ser un ejemplo para ellos.

A mis Hermanos Ruth y Edil, con quienes comparto la vida familiar.

A mi cuñado Elar, de quien siempre recibí un apoyo moral para cumplir metas.

A mis tíos y tías quienes me brindan un cariño enorme.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro en agua potable de tipo Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano. Para evaluar la eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro, se tuvo que realizar una toma de datos de cloro residual en 15 puntos de muestreo en la red de distribución JASS Tankarpata haciendo la modificación del sistema de Doble tanque y Venturi. Estos datos fueron modelados y subidos al software WaterCAD para su respectiva simulación, de donde se realizó el análisis suficiente para su respectiva comparación.

Se modeló matemáticamente el cloro residual en la red de distribución, para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi mediante los datos de cloro residual recolectados en el muestreo de agua en diferentes puntos de la red de distribución. Se simularon las condiciones de operación reales para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi usando el software WaterCAD.

Se evaluó la dosificación de cloro en agua potable Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano, siendo este último el que presenta mayores ventajas en la facilidad de operación y respecto a las variaciones de concentración de cloro a través del tiempo se observó que no existió diferencia significativa entre los datos obtenidos en campo y los simulados ya que se obtuvo un un valor F igual a 0.04 que fue menor al valor crítico que fue 4.19 y una probabilidad igual del 83%, finalmente el sistema resultó tener un coeficiente de ajuste del 85% que fue superior al del sistema doble tanque para el que el coeficiente de regresión resultó ser de 73%, por lo que el sistema Venturi resultó ser más eficiente.

Palabras clave: cloro residual, sistema de dosificación, Venturi, doble tanque, agua potable

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the efficiency of Double Tank and Venturi type chlorine dosing systems in drinking water for the treatment of water for human consumption. To evaluate the efficiency of the chlorine dosing systems, residual chlorine data had to be collected at 15 sampling points in the JASS Tankarpata distribution network by modifying the Double tank and Venturi system. These data were modeled and uploaded to the WaterCAD software for their respective simulation, from which sufficient analysis was carried out for their respective comparison.

Residual chlorine in the distribution network was mathematically modeled for the Double Tank and Venturi disinfection treatment systems using residual chlorine data collected from water sampling at different points in the distribution network. Actual operating conditions for the Dual Tank and Venturi disinfection treatment systems were simulated using WaterCAD software.

The dosage of chlorine in drinking water was evaluated. Double tank and Venturi for the treatment of water for human consumption, the latter being the one that presents the greatest advantages in ease of operation and with respect to the variations in chlorine concentration over time, it was observed. that there was no significant difference between the data obtained in the field and the simulated ones since an F value equal to 0.04 was obtained, which was less than the critical value which was 4.19 and an equal probability of 83%, finally the system turned out to have a coefficient of adjustment of 85% which was higher than that of the double tank system for which the regression coefficient turned out to be 73%, so the Venturi system turned out to be more efficient

Keywords: residual chlorine, dosing system, Venturi, double tank, drinking water

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO I	12
PROBLEMA OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN	12
Planteamiento de problema.....	12
Formulación de problema	13
1.1.1 Problema general	13
1.1.2 Problemas específicos.....	13
Justificación del estudio.....	13
1.1.3 Justificación técnica.....	13
1.1.4 Justificación económica.....	13
1.1.5 Justificación social.....	14
Objetivos de la investigación	14
1.1.6 Objetivo general.....	14
1.1.7 Objetivos específicos	14
CAPÍTULO II	15
MARCO TEÓRICO	15
Antecedentes.....	15
2.1.1 Antecedentes Internacionales	15
2.1.2 Antecedentes Nacionales	16
2.1.3 Antecedentes locales.....	18
Marco Teórico.....	19
2.1.4 Junta administradora de servicios de saneamiento JASS	19
2.1.5 Agua potable.....	19
2.1.6 Calidad de agua potable.....	19
2.1.7 Desinfección de los componentes de un sistema de agua potable	20
2.1.8 Agentes desinfectantes de agua	20
2.1.9 Desinfección y Cloración de agua	21
2.1.10 Parámetros que afectan la cloración en el agua	23
2.1.11 Inyector Venturi.....	25
2.1.12 Sistema de cloración Venturi.....	26
2.1.13 Sistema de cloración por goteo doble tanque	27

2.1.14	ISO- 7393-2	29
2.1.15	Cálculos para dosificación de cloro	29
2.1.16	Procedimiento de dosificación de solución madre al sistema de agua potable 30	
2.1.17	Software de simulación WaterCAD	32
2.1.18	Medición y modelado de cloro residual.....	37
	Hipótesis de investigación	38
2.1.19	Hipótesis general	38
2.1.20	Hipótesis específicas.....	38
	Variables	38
2.1.21	Dependiente	38
2.1.22	Independiente.....	38
2.1.23	Operacionalización de variables	39
	CAPÍTULO III	40
	METODOLOGÍA	40
	Diseño metodológico	40
3.1.1	Enfoque de investigación.....	40
3.1.2	Tipo de investigación.....	40
3.1.3	Diseño de investigación	40
3.1.4	Nivel de investigación	40
3.1.5	Población	40
3.1.6	Muestra	40
3.1.7	Puntos de muestreo	40
	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.1.8	Técnicas	42
3.1.9	Materiales y equipos	42
	Muestreo	42
	Procedimiento de determinación de demanda de agua potable	44
	Procedimiento de preparación de solución madre	44
	Procedimiento de modelamiento dinámico y simulación de cloro libre residual (mg/L) .	45
	CAPÍTULO IV	49
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
	Resultados	49
	Resultados en campo de cloro residual con sistema doble tanque.....	53
	Resultados en campo de cloro residual con sistema Venturi	54
	Modelación y simulación de cloro residual	55
	Calibración de simulación de cloro residual para sistema doble tanque.....	68
	Calibración de simulación de cloro residual para sistema Venturi	74
	Modelación de sistema.....	79
	Discusión de resultados.....	83

CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS.....	91
ANEXO 01: Matriz de consistencia.....	91
ANEXO 02: Datos recolectados y procesados	93
ANEXO 03: Esquematización puntos de muestreo	95
ANEXO 04: Análisis ANOVA.....	96
ANEXO 05: Análisis REGRESIÓN.....	98
ANEXO 06: Actas de monitoreo de cloro residual y parámetros de campo.....	100
ANEXO 07: Registro fotográfico	108
ANEXO 08: Norma ISO 7393.....	113
ANEXO 09: Manual para la cloración de agua potable.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Concentraciones de desinfectante para la desinfección de sistemas de agua potable ...	20
Tabla 2	Ventajas y desventajas de agentes desinfectantes	22
Tabla 3	Tabla de dosificación de hipoclorito de calcio para diferentes caudales.....	31
Tabla 4	Expresiones para pérdida de carga en una tubería llena.....	33
Tabla 5	Coefficientes de rugosidad para tuberías	34
Tabla 6	Coefficientes de pérdidas menores para accesorios.....	35
Tabla 7	Ecuaciones de reacción para ordenes (cero, primer, segundo).....	35
Tabla 8	Muestreo de agua potable JASS Tankarpata.....	43
Tabla 9	Generalidades de sistema	49
Tabla 10	Puntos Georreferenciados	51
Tabla 11	Condiciones de sistema	52
Tabla 12	Condiciones para preparación y uso de solución madre para sistema Doble Tanque .	53
Tabla 13	Resultados de Cloro Residual en puntos de muestreo con Sistema Doble Tanque.....	53
Tabla 14	Condiciones para preparación y uso de solución madre para sistema Venturi	54
Tabla 15	Resultados de Cloro Residual en puntos de muestreo con Sistema Venturi	55
Tabla 16	Resultados de Cloro Residual simulado con Sistema Doble tanque	61
Tabla 17	Resultados ANOVA para resultados de Sistema Doble tanque	62
Tabla 18	Resultados de Cloro Residual simulado con Sistema Venturi	62
Tabla 19	Resultados ANOVA para resultados de Sistema Doble tanque	64
Tabla 20	Resultados decaimiento de concentración de cloro.....	69
Tabla 21	Resultados valor de coeficiente de correlación para cada orden de reacción.....	70
Tabla 22	Resultados coeficiente de reacción de masa sistema Doble Tanque	71
Tabla 23	Resultados con calibración de Cloro Residual simulado con Sistema Doble tanque..	72
Tabla 24	ANOVA para resultados de Sistema Doble tanque con calibración	73
Tabla 25	Resultados decaimiento de concentración de cloro en sistema Venturi.....	74
Tabla 26	Resultados coeficiente de reacción de masa sistema Venturi	75
Tabla 27	Resultados con calibración de Cloro Residual simulado con Sistema Venturi.....	76
Tabla 28	ANOVA para resultados de Sistema Doble tanque con calibración	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Equipo de cloración de Inyector Venturi	26
Figura 2 Equipo de cloración por goteo doble tanque	28
Figura 3 Proceso de simulación y modelado de calidad de agua (cloro residual).....	37
Figura 4 Croquis de red de distribución de agua potable Tankarpata y puntos de muestreo	41
Figura 5 Creación de constituyente	46
Figura 6 Propiedades de constituyente.....	47
Figura 7 Selección de constituyente de sistema de datos	47
Figura 8 Presentación de resultados	48
Figura 9 Ubicación de lugar de estudio (Jass Tankarpata).....	50
Figura 10 Perfil de elevaciones en red de distribución	52
Figura 11 Esquematación sistema de distribución	56
Figura 12 Esquematación sistema de distribución (continuación)	57
Figura 13 Esquematación sistema de distribución (continuación)	57
Figura 14 Esquematación sistema de distribución (continuación)	58
Figura 15 Esquematación sistema de distribución (continuación)	58
Figura 16 Datos de constituyente	59
Figura 17 Concentración inicial de cloro en reservorio	60
Figura 18 Código de colores para concentraciones de cloro residual	60
Figura 19 Comportamiento de resultados de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación doble tanque	61
Figura 20 Comportamiento de resultados de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación Venturi	63
Figura 21 Comportamiento de concentración de cloro residual con sistema doble tanque	65
Figura 22 Comportamiento de resultados de concentración de cloro residual con sistema Venturi	66
Figura 23 Cinética de orden 0 para el punto de muestreo 0868.....	69
Figura 24 Cinética de primer orden para el punto de muestreo 0868	70
Figura 25 Cinética de segundo orden para el punto de muestreo 0868.....	70
Figura 26 Concentración de cloro y tiempo para el punto de muestreo 0863 con línea de tendencia exponencial	71
Figura 27 Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Doble Tanque	73
Figura 28 Coeficientes de reacción de masa y puntos de muestreo para el sistema Venturi con línea de tendencia exponencial.....	74
Figura 29 Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi.....	76
Figura 30 Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi a las 6:00 am	77
Figura 31 Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi a las 10:00 am	78
Figura 31 Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi a las 3:00 pm	78

CAPÍTULO I
PROBLEMA OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN
Planteamiento de problema

El recurso hídrico es de vital importancia ya que tiene diferentes usos ya sea doméstica, para consumo y cultivos; sin embargo, esta debe de cumplir ciertas características tanto físicas como químicas sobre todo para el uso doméstico el cual debe de estar calificada para su consumo. (Organización Mundial de la Salud, 2019)

Son las zonas rurales en las que se da la mayor carencia de servicios adecuados de agua potable debido a la inaccesibilidad y falta de gestión técnica, exponiendo a la población a contraer enfermedades infecciosas, agudas, crónicas y hasta letales, por ello hoy en día se debe cuidar la salud de la población y dar garantía de que el agua que consumen es inocua y no tiene efectos adversos; con el fin de cumplir con dicho objetivo es necesario tener mayor continuidad y eficiencia en el control de calidad del agua y se requieren de sistemas de dosificación de cloro eficientes y con facilidad operativa accesibles, sobre todo en las zonas rurales donde existe una carencia de servicio de agua potable debido a la inaccesibilidad y falta de gestión técnica que existe.

Generando desafíos para proporcionar sistemas nuevos o mejorados de desinfección de agua potable los cuales deben de ser eficaces, estables y perdurables como el método de doble tanque el cual puede ser adaptado fácilmente en las zonas rurales o el método de Venturi el cual es autónomo y por lo tanto de fácil uso, además, se debe tener en cuenta que es deber de las empresas prestadoras de servicio garantizar el recurso hídrico de acuerdo a la normativa nacional vigente para lo cual es necesario realizar diversos programas de monitoreo que se realicen de manera continua y con el control respectivo.

Formulación de problema

1.1.1 Problema general

¿Cuál es la eficiencia de los sistemas de tratamiento de desinfección de agua potable Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el modelo matemático que describe el comportamiento del cloro residual en las redes de distribución para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble recipiente y Venturi?
- ¿Cuáles son las condiciones de operación reales para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble recipiente y Venturi?
- ¿Son correctas las condiciones de operación para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble recipiente y Venturi?

Justificación del estudio

1.1.3 Justificación técnica

Con la siguiente investigación se motiva al estudio de selección de sistemas de cloración eficientes que originen una dosificación adecuada de cloro y minimicen su desperdicio, por ende, se garantice la calidad de agua y así se puedan tener mayores niveles de control evaluando de manera constante las redes de distribución de agua potable en distintas zonas del país a través de Softwares de simulación.

1.1.4 Justificación económica

El conocimiento obtenido por medio de la investigación permitirá mejorar la calidad de vida de los pobladores de tal forma que se reduzcan las enfermedades parasitarias e infecciosas que puedan contraer a causa de un agua insalubre, minimizando sus gastos en medicamentos y tratamientos.

Además, al realizarse por medio de un software de simulación no requiere de inversiones grandes de dinero aportadas por el sector público o privado en operaciones continuas como en los sistemas tradicionales de determinación de calidad de agua.

1.1.5 Justificación social

Para evitar daños y posibles enfermedades infecciosas que afecten negativamente la salud de la población consumidora es necesaria una técnica óptima de dosificación de cloro que garantice la condición del agua a tratar en el proceso de desinfección, beneficiando a los operadores del MINSA al tener una red controlada y estable.

Objetivos de la investigación

1.1.6 Objetivo general

Evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de desinfección de agua potable Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano.

1.1.7 Objetivos específicos

- Modelar matemáticamente el cloro residual en la red de distribución, para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi.
- Simular las condiciones de operación reales para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi.
- Validar las condiciones de operación para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Quito (2020) en su tesis con título “Estudio de la calidad del agua y modelación hidráulico del sistema de distribución de la ciudad de Jipijapa aplicando WaterCAD” entregaron muestras al Laboratorio para realizar las pruebas físico, químico y bacteriológicas correspondientes al agua potable de la zona urbana de la ciudad de Jipijapa; de acuerdo al análisis de los resultados se contrastó con los parámetros establecidos en la Norma INEN 1108 y se pudo concluir que la calidad del agua no cumplía con los parámetros de desinfección de la red al no encontrar presencia de cloro residual menor a 0,01 g/ml, se utilizó el software WaterCAD que ayudó a determinar que la red de distribución no se encontraba en óptimas condiciones al no cumplir con los valores mínimos de presión establecidos por las normas ecuatorianas, además, se determinó que existían conexiones clandestinas al no existir un programa de mantenimiento.

Copa (2019) en su investigación cuyo título es “Modelación de la dosificación de cloro residual en la red de distribución de agua potable del barrio central ciudad de Tarija” se propuso obtener información sobre las condiciones en las que se encontraba el valor del cloro residual en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Tarija, para lo cual se compararon los resultados obtenidos in situ y la simulación de un modelo generado en el software WaterCAD para demostrar si los valores obtenidos se encontraban dentro de la normativa establecida en el país de Bolivia, encontrándose que los valores de cloro residual se encontraban dentro del rango 0 a 1.41 mg/L, valores que sobrepasaban los valores establecidos en la normativa de calidad del agua de dicho país, los resultados obtenidos en el software determinaron que el comportamiento de

desinfectante era bastante similar al obtenido en el muestreo, esto debido a que existen variaciones mínimas en el modelo generado debido a que se observa que en la realidad sufre incrementos y descensos la dosificación del hipoclorito de calcio.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Fernandez y Cruz (2021) en su tesis de título “Eficiencia del Hipoclorador de doble recipiente en el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano en la localidad de Alan García, Alonso de Alvarado, 2021” observaron y determinaron que el sistema de cloración de la localidad de Alan García que proveía un caudal de 1.2 L/s a la población no cumplía con los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, debido a la carencia de un sistema de cloración, por lo que propusieron adicionar un Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente, por lo que evaluaron su eficiencia durante 15 días y obtuvieron una concentración promedio de cloro residual en reservorio de 1.6 hasta 0.6 mg/L en el último punto de muestreo, pH de 7.52, una Turbiedad de 0.98 UNT, Color 1 UCV, Coliformes Termotolerantes y Coliformes fecales de 0 NMP/100mL por lo que concluyeron en considerar a la tecnología propuesta como adecuada para la desinfección de agua a partir de la comparación con los parámetros establecidos en la norma ya mencionada.

Inca y Ulloa (2018) en su tesis de título “Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo- Santiago de Chuco” usaron el software WaterCAD para la modelación y simulación de la concentración de cloro residual (mg/L) en la red de distribución agua, para ello se determinó un modelo calibrado y posterior a ello se halló la dosificación óptima para que la desinfección de agua sea eficaz en toda la red. Además, se encontró que la concentración de cloro residual en toda la red no cumplía con la normativa de calidad de agua, por tal motivo se procedió a determinar la dosificación óptima para ajustar los

parámetros y que se cumpla con la norma establecida; con la investigación se demostró que es importante el uso de la herramienta para el control adecuado de la calidad del agua en las redes de distribución.

Rodriguez (2018) en su tesis titulada “Modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Rioja para determinar la calidad microbiológica, 2017” generó un modelo de simulación del cloro residual, en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Rioja, durante el año 2018, para lo cual se tomaron muestras de cloro residual libre de 146 conexiones de agua en las redes domiciliarias, para lo cual se requirió de muchos softwares, uno de ellos para la modelación del cloro residual, que fue el programa WaterCAD; los resultados demostraron que la concentración de cloro residual en las redes de distribución eran mayores a 0.5 mg/L, valor que garantizaba la eliminación de agentes patógenos en las redes; además, este valor se encontraba dentro del rango de los límites máximos permisibles según la OMS (0.5 a 5 mg/L) y según el reglamento de calidad del agua para consumo humano del MINSA que también tiene como límite máximo permisible 5 mg/L.

Landeo (2018) en su tesis que lleva por título “ Relación de métodos de goteo y eficiencia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales” cuyo objetivo fue determinar el grado en el que favorece la relación de los métodos de goteo y la eficiencia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales, para cual se hizo la instalación de sistemas de cloración por goteo en un reservorio, las cuales tenían las mismas condiciones de operación con caudal de goteo diario de 0.20 L/s de solución clorada y con un goteo de 248 gotas /minuto para posteriormente analizar los resultados de cloro residual de cada uno de los sistemas, se obtuvieron resultados para un sistema de cloración por goteo con flotador adaptado que tenía cloro residual en el inicio de 0.71 a 1.03 mg/L, en la mitad de la red 0.67 mg/L a

1.01 mg/L y al final de 0.57 a 0.91 mg/L; con la misma dosificación el sistema de cloración por goteo por embalse presentó al inicio 0.64 mg/L, en la mitad de la red 0.58 mg/L y al final de la red 0.48 mg/L, finalmente se concluyó que estos valores si se encontraban dentro del rango establecido en la normativa de calidad de agua que es de 0.50 mg/L.

2.1.3 Antecedentes locales

Pacheco y Zuñiga (2018) En su tesis titulada “Análisis de la eficiencia de las tecnologías de cloración de agua por goteo convencional, goteo adaptado, clorinador y goteo autocompensante aplicadas en la comunidad campesina de Pillao Matao en el distrito de San Jerónimo para el año 2017 y proyectadas a futuro” Realizaron la comparación de lecturas a partir de los resultados generados por el software de modelamiento, para así poder determinar que tecnología de desinfección de agua de las propuestas es más eficiente (Clorinadores, Goteo Convencional, Goteo Adaptado y Goteo Autocompensante), además de adaptar las condiciones necesarias para la evaluar tecnologías, los autores concluyeron que la tecnología más óptima y eficiente fue la Tecnología de Cloración por Goteo de Doble Recipiente con Filtro de Anillos.

Marco Teórico

2.1.4 Junta administradora de servicios de saneamiento JASS

De acuerdo con MVCS (2015) conoce que una JASS es una organización sin fines de lucro que se encarga de administrar, operar y mantener los servicios de saneamiento, esta organización permite la participación de la población en conjunto con instituciones que se vinculan a los temas de saneamiento y recepción de asistencia técnica. Dentro de las actividades que realizan las JASS se encuentran:

- Coordinar con las autoridades de la zona
- Convocar a asambleas y explicar las funciones de una JASS
- Manejar un libro de actas conforme a todos los acuerdos que se tomen en las asambleas.
- Administrar y operar la prestación de servicios en centros poblados
- Mantener de manera eficiente los servicios de saneamiento

2.1.5 Agua potable

Se define como el agua para el consumo humano la cual debe ser transparente, sin olor, sin sabor y no debe presentar sólidos suspendidos. Cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas, de tal manera que no genera un riesgo para la salud de los consumidores (Muñoz Mendoza, 2019)

2.1.6 Calidad de agua potable

Se define como la calidad de agua como la determinación de la calidad del agua suministrada por el proveedor, de acuerdo con los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano. La calidad de agua potable en el Perú está acorde al Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, promulgado por el MINSA y aprobado mediante Decreto 15 Supremo N° 031-2010-SA. En caso del uso del cloro o solución clorada como desinfectante, las muestras

tomadas en cualquier punto de la red de distribución no deberán presentar menos de 0.5 mg/L de cloro residual libre en el noventa por ciento (90%) del total de muestras tomadas durante un periodo de un mes. Del diez por ciento (10%) restante, ninguna debe presentar menos de 0.3 mg/L (DIGESA, 2013).

2.1.7 Desinfección de los componentes de un sistema de agua potable

De acuerdo con el del Ministerio de Salud, las concentraciones de desinfectantes detallados en el punto 2.2.4 para los sistemas de agua potable deben estar dentro del rango que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1

Concentraciones de desinfectante Hipoclorito de calcio al 70% para la desinfección de sistemas de agua potable

Descripción de parte del sistema	Concentración mg/L o ppm	Tiempo de retención (h)
Captación	150-200	2-4
Reservorios	50	4
Tuberías	50	4

Nota: (Landeo, 2018)

2.1.8 Agentes desinfectantes de agua

2.1.8.1 Ácido hipocloroso

Este es un compuesto químico que se genera por la reacción del agua con un producto de cloro, este tiene un gran poder desinfectante debido al bajo peso molecular que posee y que le permite atravesar la pared celular de los microorganismos. (Landeo, 2018)

2.1.8.2 Ion Hipoclorito

Este es un compuesto que al igual que ácido hipocloroso resulta de la reacción de un producto de cloro con el agua; sin embargo, su capacidad de desinfección es muy reducida debido a su condición de ion. (Landeo, 2018)

2.1.8.3 Compuesto de cloro

Se usa para la desinfección de agua, los compuestos en base a cloro más utilizados son cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaOCl) e Hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) (Landeo, 2018)

- **Cloro gas**

Se aplica con el uso de eyectores de alta presión de manera directa hacia el agua.

- **Cloro sólido**

El cloro en su presentación sólida se encuentra en tabletas y se puede aplicar usando difusores o hipocloradores y clorinadores de tabletas, estas son utilizadas mayormente en piscinas.

- **Cloro líquido**

El cloro líquido se presenta como hipoclorito de sodio. Se aplica de manera sencilla en las cámaras de cloración o reservorio mediante dispositivos de gravedad o bombas dosificadoras.

2.1.9 Desinfección y Cloración de agua

La cloración del agua se puede realizar usando agentes físicos o agentes químicos; los agentes actúan de dos formas para la destrucción de microorganismos, ya sea destruyendo directamente la pared celular y posteriormente al microorganismo o afectando la actividad enzimática existente en el entorno del microorganismo, en consecuencia, afectando su metabolismo y finalmente originando su muerte (Rodriguez, 2018).

Tabla 2
Ventajas y desventajas de agentes desinfectantes

Tipo de agente	Agente desinfectante	Ventajas	Desventajas
Agentes físicos	Filtración	Filtros lentos que alcanzan aproximadamente el 96% de eficiencia de remoción de bacterias y los filtros rápidos que alcanzan hasta el 98%. Retiene todo tipo de microorganismos incluyendo quistes de parásitos.	Solo funciona para microorganismos de gran tamaño. Funciona con baja turbiedad, no elimina algas y diatomeas que son responsables del color en el agua; no tiene efecto residual
	Radiación ultravioleta	Destruye ADN de bacterias y virus. No requiere tiempos de contacto que sean altos y no altera las características del agua y es de fácil aplicación y bajo costo.	No tiene efecto residual El mantenimiento de las lámparas requiere de personal capacitado y calificado Su aplicación requiere de energía eléctrica Puede disminuir su eficacia en agua turbias o con color
Agentes Químicos	Cloración	Tiene efecto residual Es de fácil aplicación y de bajo costo Requiere periodos de contacto cortos Muy efectivo contra virus y bacterias	Puede agregar, sabor, olor y color al agua Baja capacidad desinfectante en aguas con pH mayores a 7.5 Requiere de un almacenamiento cuidadoso y manipulación adecuada. Es altamente corrosivo Puede generar subproductos peligrosos para la salud (trihalometanos y compuestos orgánicos halogenados y no halogenados)

		No es adecuado para remover huevos y quistes de parásitos Operación y mantenimiento sencillos de equipos
Ozono	Tiempo de contacto bajo, menor que el cloro, capacidad de desinfección no depende de pH	No tiene efecto residual y requiere de un alto costo, posee una vida media en el agua que son aproximadamente menos de 30 minutos, requiere de equipos especializados y energía para su aplicación El mantenimiento de los equipos es muy complicado

Nota: (Rodriguez, 2018)

En la tabla anterior se pueden observar las ventajas y desventajas de diversos agentes desinfectantes, entre ellos el cloro es una de las alternativas más atractivas a ser usadas en la desinfección del agua destinada a consumo humano.

La cloración del agua es un proceso que ayuda en la eliminación y/o inactivación de microorganismos y organismos que pueden ser patógenos para el ser humano y que se encuentran en el agua. Nota: (Rodriguez, 2018)

El cloro es el desinfectante de mayor aplicación, por su fácil aplicación y porque es factible de mantener y medir una concentración residual para proteger el agua de posibles contaminaciones en la red de distribución (Hinojosa Baldeón, 2008).

2.1.10 Parámetros que afectan la cloración en el agua

2.1.10.1 pH del agua

Medida de la concentración de iones hidronio en el agua, se relaciona con el grado de acidez o basicidad que posee el recurso hídrico, este parámetro es muy importante para

la cloración del agua pues se vuelve efectiva con valores de pH 7 o neutro y su efectividad se ve reducida a valores de pH mayores a 8 (Landeo, 2018).

2.1.10.2 Turbiedad de agua

Este parámetro indica la capacidad que un haz de luz pase a través de un cuerpo de agua. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud y Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos se recomienda una turbiedad máxima de 0.1 UNT para elevar la efectividad de la desinfección de agua, pues mientras más elevado el valor de la turbiedad del agua es menor la eficiencia de desinfección, no es recomendable clorar agua con más de 5 UNT. (Landeo, 2018)

2.1.10.3 Materia Orgánica

La presencia de materia orgánica puede causar la inactivación del cloro sobre todo en agua que poseen un contenido elevado de sales de calcio y hierro, produciendo la disminución de actividad de cloro siendo altamente susceptible a las soluciones diluidas. (Rodríguez Jerez, 2001)

2.1.10.4 Incrustaciones calcáreas

Las incrustaciones se forman a partir del calentamiento del agua la contiene sales disueltas de calcio y de magnesio, las cuales pierden su estabilidad descomponiéndose mayormente en carbonato de calcio y de magnesio lo cuales son insolubles y por lo tanto se adhieren a las paredes de las tuberías, provocando el ambiente adecuado para la aparición de microorganismos inhibiendo la desinfección de agua. (Galdón Trillo, 2021)

2.1.10.5 Tiempo de contacto

Tiempo en el que el cloro se encuentra en contacto con el agua, es recomendable que el cloro tenga suficiente tiempo de contacto con el agua para realizar la desinfección (Landeo, 2018)

2.1.10.6 Sistema de abastecimiento de agua potable

Se define como sistema de abastecimiento de agua para consumo humano, al conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas los cuales están relacionados por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde el punto de captación hasta el suministro del agua mediante conexión domiciliaria, para un abastecimiento adecuado cuyos componentes deben cumplir con las normas de diseño del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (DIGESA, 2013).

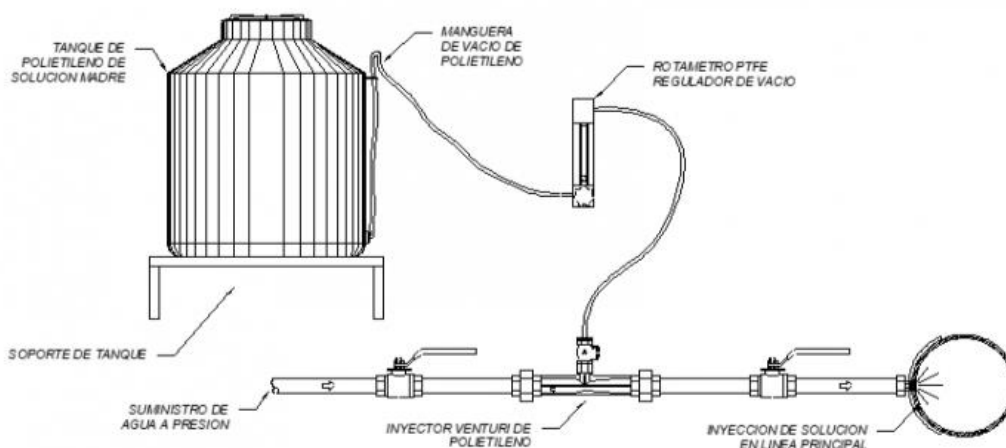
2.1.10.7 Componentes hidráulicos del sistema de abastecimiento

Se define como sistema de abastecimiento de agua potable más complejo, al que utiliza aguas superficiales, también consta de cinco partes principales como: Almacenamiento de agua bruta, Captación, Tratamiento, Reservorio y Red de distribución (Muñoz Mendoza, 2019).

2.1.11 Inyector Venturi

El Venturi es un dispositivo hidráulico con forma de doble embudo con una estrangulación en medio que los separa. El agua al pasar por la "garganta" aumenta rápidamente la velocidad disminuyendo la presión para inyectar una solución madre en ese punto.

Figura 1
Equipo de cloración de Inyector Venturi



Nota. Extraído de (PROAGUA Ingenieros S.A.C., 2023)

2.1.12 Sistema de cloración Venturi

Es una tecnología que utiliza el principio hidráulico de Venturi (ver fotografía 2 del Anexo 04) para generar un vacío suficiente en el inyector, de esta forma poder succionar la solución de cloro del tanque de solución madre, para luego ser mezclado uniformemente con el flujo de agua a presión, que puede provenir de la línea principal de abastecimiento o una línea alterna.

Ventajas del sistema:

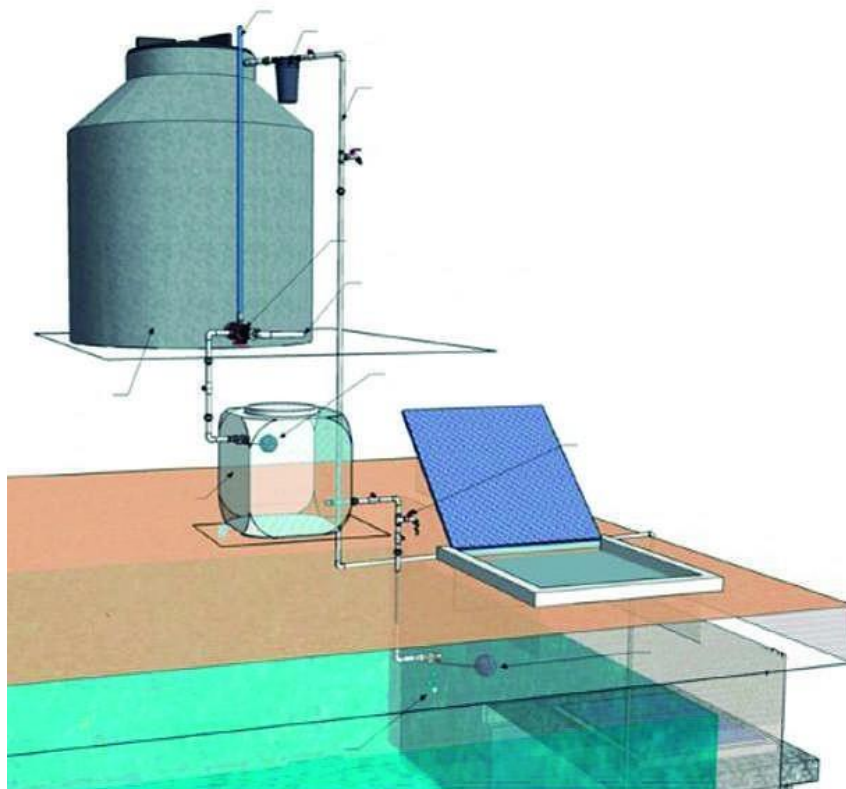
- Automático: Hace posible automatizar el sistema logrando que la cloración sea acorde al consumo; haciendo ahorrar insumo cuando el reservorio se encuentra lleno o en rebose.
- Efectiva: La solución de cloro es inyectada directamente hacia la línea de conducción, obteniendo una mezcla homogénea y óptima que garantiza una cloración de alta eficiencia.
- Dosificación precisa y fácil de usar: El sistema Venturi permite una dosificación precisa de cloro en el agua ya que la mezcla se realiza directamente en función a la velocidad de flujo del agua a través del sistema.

- **Económico:** Es un sistema que ahorra tiempo y dinero en su costo directo de instalación. Los equipos de cloración por goteo existentes pueden adaptarse al sistema Venturi, para su mejor funcionamiento
- **Adaptabilidad:** Puede instalarse en sistemas de agua por gravedad simple, sistemas por bombeo o en sistemas donde el abastecimiento no es continuo.
- **Confiable:** El equipo funciona aprovechando la presión del agua, por lo que no requiere energía eléctrica, que lo hace confiable todos los días del año.

2.1.13 Sistema de cloración por goteo doble tanque

Este sistema usa dos tanques (ver fotografía 1 del Anexo 04) , uno de 250 a 750 L que contiene el preparado de hipoclorito de calcio de alta concentración disuelto en agua al que se denomina solución madre o solución clorada, esta solución se lleva por tuberías y por gravedad a un segundo recipiente denominado regulador de carga, este es un balde o bidón de 42 L que tiene incorporado una boya que regula la entrada de agua, en este último recipiente se mantienen constantes el flujo de agua alimentado y la altura de carga que garantiza el goteo constante y uniforme de la solución en el interior del reservorio (COSUDE, 2018).

Figura 2
Equipo de cloración por goteo doble tanque



Nota. Extraído de (PROAGUA Ingenieros S.A.C., 2023)

Los dispositivos de esta tecnología son de fácil instalación y son fáciles de adquirir en el mercado local. El sistema se instala al costado del reservorio o encima de este y se debe proteger con una caseta.

Ventajas del sistema:

- Este es un sistema bastante fácil de operar y permite una obtención de cloro residual entre valores de 0.5 ppm a 1.0 ppm en cualquier punto de la red de distribución sin variaciones.
- La dosificación de cloro se calcula en función al caudal de consumo de agua de la población; el gasto de cloro tiene una relación directa con el consumo de la población.

- La cloración se puede realizar durante 24 horas o también se puede adaptar para tiempos menores 18 o 6 horas.

2.1.14 ISO- 7393-2

Norma que especifica un método para la correcta determinación de cloro libre y cloro total en agua; el método se basa principalmente en la absorción del compuesto DPD de color rojo y en la medida de la intensidad de color para su comparación visual con una escala de patrones que se calibra de manera regular; además el método es versátil para pruebas de campo con fotómetros móviles y reactivos que se usan ya sean en polvo o tabletas. En el Anexo A de la norma se especifica el procedimiento para lograr la diferenciación del cloro combinado tipo monocloramina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno y en el Anexo C se muestra el procedimiento para la determinación de cloro libre y cloro residual en agua potable y aguas de baja contaminación.

2.1.15 Cálculos para dosificación de cloro

2.1.15.1 Procedimiento para el cálculo de dosificación de cloro

La dosificación de cloro y la respectiva preparación de solución madre requieren identificar:

- Caudal de ingreso al reservorio
- Caudal mínimo de goteo
- Periodo de recarga de tecnología de cloración en días
- Concentración de cloro a nivel de reservorio
- Tipo de hipoclorito de calcio a usar: 70% el de mayor uso
- Máxima concentración de la solución clorada no debe superar los 5000 ppm

El procedimiento para seguir es:

- Cálculo de peso de desinfectante (hipoclorito de calcio al 65-70%)

Se calcula la cantidad de hipoclorito de calcio en gramos que se debe suministrar con un goteo no menor de 40 ml/min para un tiempo determinado de recarga, para ello se puede usar la siguiente formula.

$$P = \frac{Q_i * T * C_2}{10 * \%Cloro} \quad (1)$$

Nota. Extraído de (Echegaray, 2009)

Donde:

P: Peso de hipoclorito en gramos.

Qi: Caudal de ingreso al reservorio en Litros / seg.

T: Tiempo de recarga.

C2: Concentración de cloro a nivel de reservorio en ppm.

% Cloro: Concentración de hipoclorito de calcio.

- El peso encontrado se mezcla con agua y se obtiene la solución clorada que no debe superar las 5000 ppm.

2.1.16 Procedimiento de dosificación de solución madre al sistema de agua potable

El cálculo de la dosificación de cloro en el sistema de agua se realiza usando la relación entre el caudal de agua que ingresa al reservorio y el caudal de la solución madre son una concentración de 5000 ppm, se acuerdo a los siguientes pasos:

- Cálculo del caudal de demanda de agua para la población.
- Cálculo del caudal de goteo de la solución madre.
- Puesta en funcionamiento de sistema de agua potable y sistema de cloración con datos obtenidos (Caudal de agua de ingreso para un tiempo determinado, caudal de goteo de solución madre).
- Medición de cloro residual libre en reservorio y en conexiones de sistema de distribución.

- Mantener la cloración en reservorio durante un periodo de tiempo de contacto de 30 minutos.
- Con el caudal regulado se inicia la cloración del sistema en forma permanente con el monitoreo de la concentración de cloro residual libre en el reservorio y en la red de distribución de agua potable (Echegaray, 2009).

Tabla 3

Tabla de dosificación de hipoclorito de calcio para diferentes caudales

Peso de hipoclorito de Calcio al 70%(gr)	Máxima concentración de solución clorada(ppm)	Caudal de ingreso al reservorio Q_i (L/s)	Caudal de goteo Q_g (ml/min)		
1785	5000ppm	1.20	17.3	21.6	24.5
		1.30	18.7	23.4	26.5
		1.40	20.2	25.2	28.6
		1.50	21.6	27.0	30.6
		1.60	23.0	28.8	32.6
		1.70	24.5	30.6	34.7
		1.80	25.9	32.4	36.7
		1.90	27.4	34.2	38.8
		2.00	28.8	36.0	40.8
		2.10	30.2	37.8	42.8
		2.20	31.7	39.6	44.9
		2.30	33.1	41.4	46.9
		2.40	34.6	43.2	49.0
		2.50	36.0	45.0	51.0
		2.60	37.4	46.8	53.0
		2.70	38.9	48.6	55.4
		2.80	40.3	50.4	57.1
2.90	41.8	52.2	59.2		
3.00	43.2	54.0	61.2		

Nota: (COSUDE, 2018)

La concentración de cloro a nivel de reservorio (C_2) para los caudales de goteo propuestos entre 17.3 a 43.2 fue de 1.2mg/L, para 21.6 a 54.00 fue de 1.5mg/L y finalmente para 24.5 hasta 61.2 fue de 1.5mg/L.

2.1.17 Software de simulación WaterCAD

Este software se usa para modelado hidráulico y determinación de calidad de agua, es fácil de usar y se aplica en sistemas de distribución de agua (Inca & Ulloa, 2018).

WaterCAD es un software comercial desarrollado por Bentley Systems y requiere la adquisición de una licencia para su uso. Bentley Systems ofrece diferentes opciones de licencia para adaptarse a las necesidades de diversos usuarios y organizaciones, incluyendo licencias perpetuas, suscripciones y licencias para estudiantes o instituciones educativas en algunos casos (Bentley Institute, 2010).

Las simulaciones de calidad de agua se usan para analizar la información de los parámetros de calidad y establecer su comportamiento en los sistemas de distribución y abastecimiento, con el fin de verificar si se cumple con las normativas de calidad. Poseen gran variedad de aplicaciones, las que incluyen análisis de rutas de flujo, modelos de desinfección, optimización de calidad del agua, dinámica de contaminantes, determinación de lugares apropiados de muestreo, etc. Una de las ventajas de estos modelos es que permiten la determinación de propiedades como la concentración, tiempo de residencia y el recorrido de la sustancia modelada en cada uno de los puntos de la red y en cualquier momento respecto al tiempo de la simulación; si se requiere la modelación de una sustancia no conservadora como el cloro libre se requiere de un modelo de reacción adecuado y su calibración.

Para la modelación dinámica de redes de distribución y calidad de agua el software interrelaciona parámetros como:

- **Pérdida de carga o altura piezométrica:** que se produce debido a la fricción y se calcula con las ecuaciones de: Hazen Williams, Darcy-Weisbach y Chezy- Manning, cuya expresión matemática para la pérdida

de carga es la misma diferenciándose en los coeficientes de resistencia (A) y el exponente de caudal (B).

$$h_L = Aq^B \quad (2)$$

La ecuación 2 es la expresión para la pérdida de carga en función del caudal (q) y las expresiones para A y B son:

Tabla 4
Expresiones para pérdida de carga en una tubería llena

Fórmula	A	B
Hazen- Williams	$10.674C^{1.852}d^{4.871}L$	1.852
Darcy- Weisbach	$0.0827f(\varepsilon,d,Q)d^{-5}L$	2
Chezy- Manning	$10.29n^2d^{5.33}L$	2

Nota: (García, 2006)

Donde:

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen- Williams

ε : Coeficiente de rugosidad de Darcy- Weisbach (m)

f: Factor de fricción que está en función de (ε , d y Q)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

d: Diámetro de tubería (m)

L: Longitud de tubería (m)

Q: Caudal (m³/s)

Tabla 5
Coefficientes de rugosidad para tuberías

Material	C Hazen-Williams	ϵ Darcy Weisbach	n Manning
Fundición	130-140	0.26	0.012-0.015
Hormigón	120-140	0.3-3.0	0.012-0.017
Hierro galvanizado	120	0.15	0.015-0.017
Plástico	140-150	0.0015	0.011-0.015
Acero	140-150	0.045	0.015-0.017
Cerámica	110	0.3	0.013-0.015

Nota: (García, 2006)

- **Pérdidas menores:** Estas se producen debido al incremento en la turbulencia que se ocasionan por cambios en las direcciones de los codos y los accesorios, la expresión que se muestra a continuación ayuda a determinar el valor de la pérdida menor en función a la energía cinética de la tubería.

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (3)$$

Donde:

K: Coeficiente de pérdidas menores

v: velocidad de flujo (m/s)

g: gravedad (m/s^2)

De acuerdo a Rossman (2000) se pueden conocer los valores de coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6
Coefficientes de pérdidas menores para accesorios

Accesorio	Coefficiente de pérdida menor
Válvula globo, totalmente abierta	10
Válvula ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención de clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de compuerta, ¼ cerrada	0.3
Válvula de compuerta, ½ cerrada	2.1
Válvula de compuerta, ¾ cerrada	17
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio grande	0.6
Codo de 45°	0.4
Codo cerrado con inversión de flujo	2.2
Té estándar- dirección de paso	0.6
Té estándar- dirección de desvío	1.8

Nota: (Cengel & Cimbala, 2006)

- **Tasa de concentración de reactivos:** Los órdenes de reacción (cero, primer y segundo) ayudan en el modelamiento de procesos químicos que tienen lugar en los sistemas de distribución; en la siguiente tabla, de acuerdo a Brown (2004), se muestran los cambios de concentración del reactivo A respecto al tiempo.

Tabla 7
Ecuaciones de reacción para ordenes (cero, primer, segundo)

	Orden cero	Primer orden	Segundo orden
Ecuación de velocidad	$R = K$	$R = K[A]$	$R = K[A]^2$
Integración	$[A]_o - [A]_t = kt$	$\ln \frac{[A]_t}{[A]_o} = -kt$	$\frac{1}{[A]_t} - \frac{1}{[A]_o} = kt$
Forma lineal	$[A]_t = -kt + [A]_o$	$\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_o$	$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_o}$
Datos para gráfico	$y = [A]$	$y = \ln[A]$	$y = \frac{1}{[A]}$

Nota: (Brown, 2004)

- **Constante de decaimiento de cloro (K):** De acuerdo a (Garcia, 2019) la constante de decaimiento de cloro o constante global de decaimiento se determina usando la expresión:

$$K = k_b + k_{wall} \quad (4)$$

Siendo:

K_b : coeficiente de reacción masico

K_{wall} : coeficiente de degradación de pared

$$k_{wall} = \frac{2k_w * k_f}{R * (k_w + k_f)} \quad (5)$$

k_w : coeficiente de reacción de pared (m/día)

k_f : coeficiente de transferencia de masa (m/día)

R : radio de tubería (m)

$$k_f = \frac{S_h * D}{d} \quad (6)$$

S_h : Número de Sherwood

D : Difusividad molecular de cloro (m/día)

d : Diámetro de tubería

El número de Sherwood se determina de acuerdo a las condiciones de flujo del fluido que se determina con el número de Reynolds, para un flujo estático el número de Sherwood será de 2 y para el caso de flujo turbulento se calcula con la siguiente expresión:

$$S_h = 0,023 Re^{0.83} * \left(\frac{v}{D}\right)^{0.333} \quad (7)$$

Re : Número de Reynolds

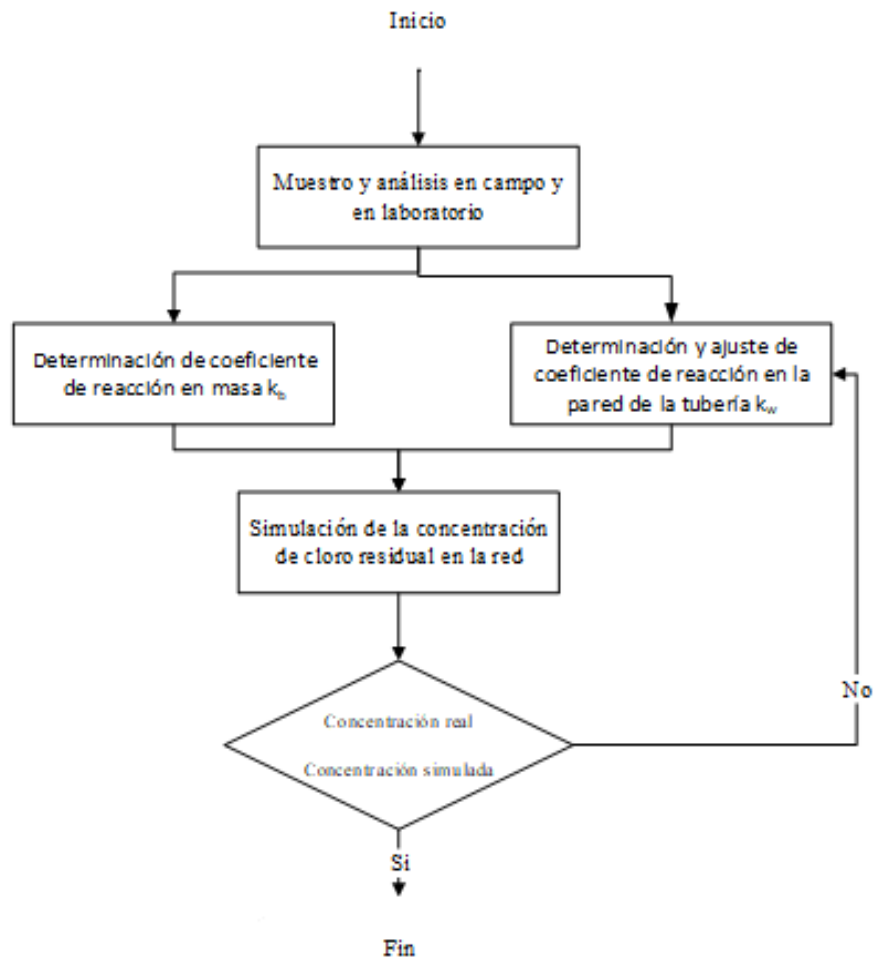
v : viscosidad cinemática de fluido

2.1.18 Medición y modelado de cloro residual

El método que más se utiliza para la determinación de cloro residual es el método colorimétrico con DPD (N,N Dietil Parafenileno Diamina), consiste en tomar muestras en puntos de la red de distribución y medir la cantidad de cloro residual. (Landeo, 2018)

Figura 3

Proceso de simulación y modelado de calidad de agua (cloro residual)



Nota: (Inca & Ulloa, 2018)

Hipótesis de investigación

2.1.19 Hipótesis general

La eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro Doble tanque y Venturi fue alta debido a que presenta aproximación a los valores establecidos de cloro residual libre en Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (no menor de 0.5 mg/L de cloro residual libre).

2.1.20 Hipótesis específicas

- El modelado matemático del cloro residual permite evaluar el comportamiento de la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución para los sistemas de dosificación de cloro de doble tanque y Venturi.
- La simulación ayuda a determinar las condiciones de operación reales para los sistemas de dosificación de cloro de doble tanque y Venturi, siendo estas condiciones cercanas a las simuladas de acuerdo al modelo matemático establecido para el cloro residual.
- Las condiciones de operación se validan, mediante la comparación de valores de cloro residual obtenidos en condiciones reales y las condiciones simuladas, siendo estas correctas y muy próximas a la realidad.

Variables

2.1.21 Dependiente

La variable dependiente adoptada en la presente investigación será la eficiencia de desinfección de sistema.

2.1.22 Independiente

Las variables independientes serán la concentración de cloro y el flujo de cloro.

2.1.23 Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
<p>Variable dependiente:</p> <p>Eficiencia de desinfección de sistema</p>	<p>Se define eficiencia según la RAE (Real Academia Española) como la capacidad de disponer de algo para conseguir un efecto determinado en este caso la eficiencia de desinfección de sistema depende de la variación de concentración de cloro libre residual a lo largo de la red de distribución de agua potable.</p>	<p>Se determinará la eficiencia de desinfección del sistema con la medición de la concentración de cloro libre residual en distintos puntos de muestreo de la red de distribución de agua potable.</p>	<p>Cloro residual después de tiempo de contacto (mg/L) in situ y en puntos a lo largo de la red de distribución (alta, media y baja concentración)</p> <p>Alta = 0.5 mg/L Media = 0.3 mg/L Baja < 0.1 mg/L</p>
<p>Variables Independientes</p> <p>Concentración de cloro Flujo de cloro</p>	<p>La concentración de cloro es la cantidad de cloro que se añade a los sistemas de desinfección. El flujo de cloro es la velocidad a la cual se añade el cloro al sistema de desinfección.</p>	<p>Se variará la concentración de cloro y el flujo de cloro en el sistema de dosificación de cloro en agua potable siendo estos: Doble tanque y Venturi</p>	<p>Dosis de aplicación de cloro (ml/min) Cloro libre Demanda de cloro</p>

CAPÍTULO III METODOLOGÍA Diseño metodológico

3.1.1 Enfoque de investigación

La investigación fue de enfoque cuantitativo debido a que se manejaron datos numéricos; además, de que se definió el problema y desarrolló modelos para la obtención de estos, para desarrollar y probar una solución, analizando los resultados obtenidos y aplicándolos. (Render & Stair, 2012)

3.1.2 Tipo de investigación

Se aplicaron conocimientos básicos en la solución de un problema de investigación, por lo tanto, fue de tipo aplicada. (Serrano, 2020)

3.1.3 Diseño de investigación

Se manejaron variables de investigación y se ejerció control sobre estas, por lo que la investigación tuvo un diseño de tipo experimental. (Lerma Gonzales, 2016)

3.1.4 Nivel de investigación

Se evaluaron fenómenos de manera descriptiva y estos fueron analizados explicando el porqué de su ocurrencia; por lo tanto, se tuvo un nivel Descriptivo-Explicativo. (Lerma Gonzales, 2016)

3.1.5 Población

Agua de consumo humano de la red de distribución JASS Tankarpata.

3.1.6 Muestra

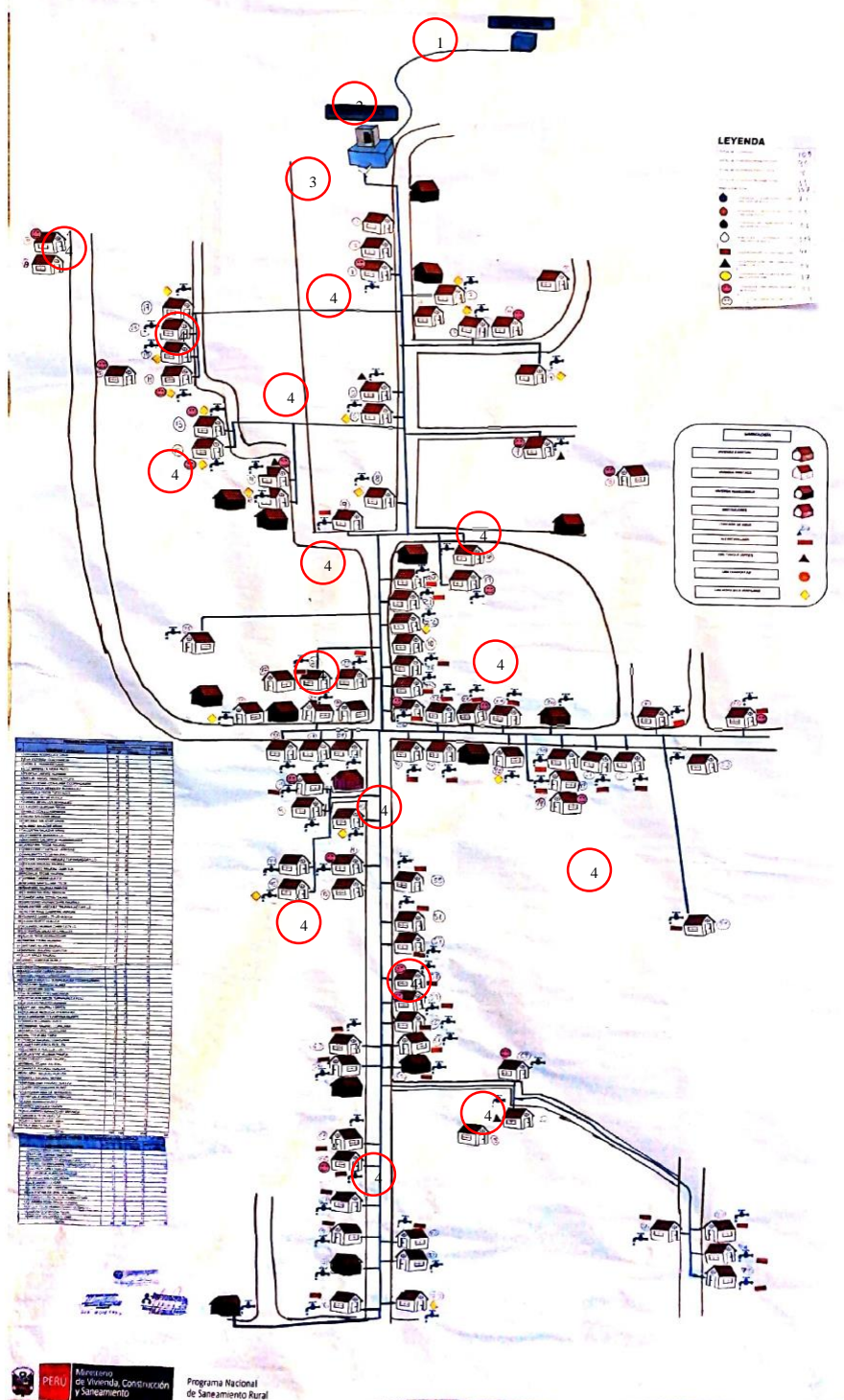
Muestras de agua tomadas en puntos estratégicos a lo largo de la red de distribución de agua potable JASS Tankarpata.

3.1.7 Puntos de muestreo

Se siguieron los siguientes puntos especificados en el siguiente mapa para la recolección de muestras:

Figura 4

Croquis de red de distribución de agua potable Tankarpata y puntos de muestreo



Nota: (Ministerio de Vivienda y Saneamiento, 2021)

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.1.8 Técnicas

Recolección de datos de pruebas experimentales de parámetros de operación de los sistemas Venturi y doble tanque con instrumentos de medida y toma de datos de concentración de cloro residual en puntos estratégicos, modelado y simulación en software.

3.1.9 Materiales y equipos

Los instrumentos necesarios para la experimentación, toma de datos y análisis fueron:

- WaterCAD versión 10
- Sistema Venturi
- Sistema doble recipiente
- GPS marca GENERIC modelo ZL-180
- pH-metro marca HANNA Hi98103
- Termómetro marca HANNA Hi 98501
- Turbidímetro marca SHANWEN 200 NTU
- Fotómetro de dureza marca HANNA Hi3812
- El Colorímetro Para Cloro Libre Checker (HI701) de Hanna instruments con pastillas DPD marca LOVIBOND para rangos de 0 – 4 mg/L
- Fichas de recolección de datos
- Gráficos estadísticos

Muestreo

El muestreo se realizó de acuerdo al protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano detallado en la R.D. No 160-2015/DIGESA que especifica los

lineamientos para la ubicación de puntos de muestreo, toma de muestras y frecuencias para el monitoreo de agua de consumo humano, de acuerdo con ello se definen los puntos de muestreo que se especifican en la siguiente tabla.

El método utilizado fue el propuesto en el ISO 7393-2, el cual utiliza el reactivo DPD (dietil-para-fenil-diamina) para poder determinar cloro residual mediante colorimetría. El límite de detección es de 0.01 mg/L, el límite de determinación es de 0.03 mg/L, el límite del rango de medición 2 mg/L, la sensibilidad 1.68 mg/L / Abs, el intervalo de confianza es de 0.033 mg/L y desviación estándar de 0.014 mg/L, el coeficiente de variación es 1.34, la interferencia con CrO_4^{2-} y MnO_2 es de 0.01 (LOVIBOND, 2022).

Tabla 8

Muestreo de agua potable JASS Tankarpata

Número	Punto de muestreo	Número de muestras		Periodo muestreo
		Sistema doble tanque (mediciones/hora)	Sistema Venturi (mediciones/hora)	
1	En la captación	1	1	09:00am-11:00pm
2	A la entrada del sistema de tratamiento de agua	1	1	09:00am-11:00pm
3	A la salida del sistema de tratamiento de agua	1	1	09:00am-11:00pm
4	En las redes de distribución sectorizadas con distancias de hasta 50 metros	15	15	09:00am-11:00pm

De acuerdo a la tabla anterior se tomaron un total de 36 muestras/hora de agua consumo humano, 30 muestras en la red de distribución que fueron de utilidad para el análisis objetivo de la presente investigación y 6 en los límites del sistema (captación

entrada y salida) que fueron de utilidad como parámetros de entrada y salida del sistema para su modelación, siguiendo el protocolo de muestreo mencionado anteriormente.

Procedimiento de determinación de demanda de agua potable

La cantidad aproximada de consumo por persona en la localidad de interés se estableció mediante la observación del consumo de agua en cada vivienda. Para ello, se fijó una demanda per cápita, recopilando datos y calculando el promedio de consumo por vivienda (Huaquisto, 2019).

Procedimiento de preparación de solución madre

De acuerdo al Ministerio de Salud en coordinación con la Cooperación Alemana Deutsche, se siguió una guía técnica de preparación de soluciones desinfectantes, para su correcta aplicación en redes de distribución de agua potable; entre los desinfectantes más usados se encuentra el hipoclorito de calcio cuya presentación es sólida granular al 70% y su aplicación es a través de una solución de cloro, el cloro que se añadió al agua para lo cual se realizó el cálculo a través de la ecuación 8 que define que el peso de hipoclorito de calcio que se disolverá es directamente proporcional al producto de la dosis de cloro libre y el volumen de agua a desinfectar e inversamente proporcional al porcentaje de cloro libre de compuesto clorado (Deutsche, 2017).

$$P = \frac{D * V}{(\% * 10)} \quad (8)$$

Donde:

P: Peso de hipoclorito de calcio en gramos que se disolverán

D: Dosis de cloro libre en mg/L de solución a prepararse

V: Volumen de agua de la estructura a desinfectar en litros

?: Porcentaje de cloro libre del compuesto clorado

10: Factor de conversión a gramos

De acuerdo con DIGESA (2013) la dosis de cloro que debe prepararse para cloración es de 1mg/L y se debe considerar el volumen efectivo del tanque, a partir de ello se determinó el caudal de goteo de hipoclorito (mL/min) a introducir en el sistema con la ecuación 9 que define que este es directamente proporcional al volumen de la solución madre e inversamente proporcional a los días de cloración y a los días de uso del sistema.

$$Q_g = \frac{\text{Volumen}_{\text{solmadre}} * 1000}{\text{Días}_{\text{cloración}} * \text{horas}_{\text{uso}} * 60} \quad (9)$$

Donde:

Q_g : Caudal de goteo hipoclorito (mL/min)

V_{solmadre} : Volumen de solución madre (L)

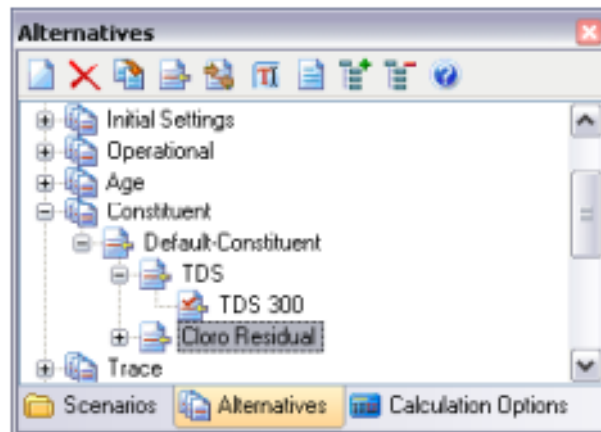
$\text{Días}_{\text{cloración}}$: Días de cloración

$\text{Horas}_{\text{uso}}$: Horas de uso del sistema por día

Procedimiento de modelamiento dinámico y simulación de cloro libre residual (mg/L)

El modelamiento y posterior simulación de cloro se realizó en el software WaterCAD debido a que ofrece un modelamiento más ajustado considerando las reacciones de pared, para lo cual se requiere una tasa de reacción de pared para el cloro y se necesita crear un constituyente especial para el cloro en el programa, yendo a Analisis/Alternatives y dando click en “Default Constitued” y nombrando a dicha alternativa como “**Cloro residual**”, como se muestra en la siguiente imagen.

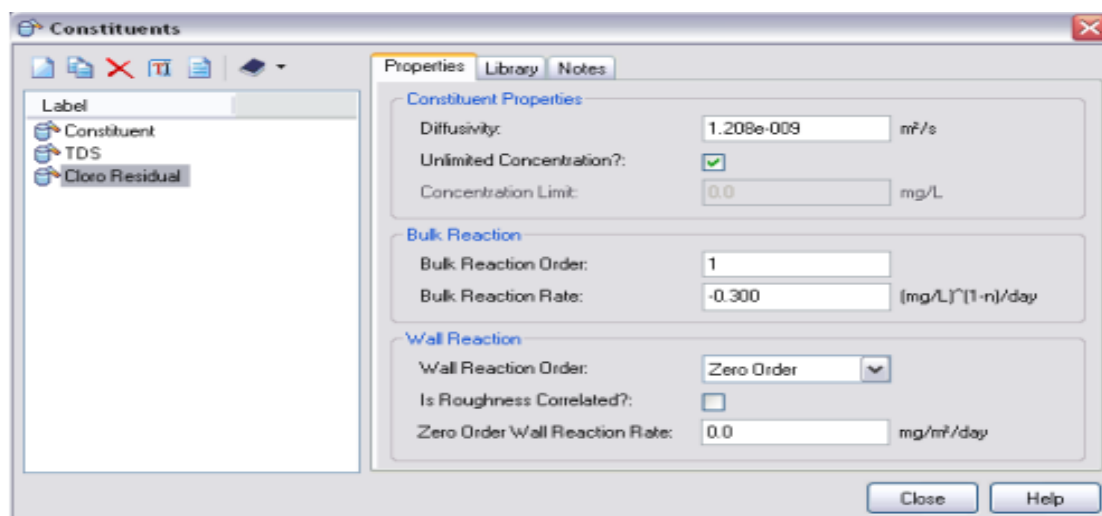
Figura 5
Creación de constituyente



Nota: (Bentley Institute, 2010)

En la ventana de constituyentes, se insertó un nuevo constituyente y nombrarlo “Cloro Residual” para que sea identificable durante la simulación, ya que la concentración de cloro decae con el tiempo por su interacción con la masa del agua y las paredes de la tubería, se deben ingresar los parámetros que definen este fenómeno. En la casilla de difusividad “**Difusivity**” insertar el valor de difusividad del cloro, la cual se definió un valor de $1.208 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ según lo mencionado por Copa (2019) ya que busca definir como se transmite el cloro en el agua. En “**Bulk Reacción Rate**” se debe ingresar el valor de decaimiento de $-0.300 \frac{\text{mg}}{\text{L} \cdot \text{día}}^{1-n}$ para la tasa de reacción de masa y no se considera una tasa de decaimiento respecto a la pared al inicio de la simulación, posterior a la determinación de las concentraciones en campo se debe determinar el orden de reacción, y reemplazar para ajustar la simulación (la cual empieza con orden 1) y obtener valores próximos de concentración de cloro y el respectivo valor del coeficiente de reacción con las paredes de tubería kw (Copa, 2019). En la Figura 4 puede visualizar de mejor forma lo indicado.

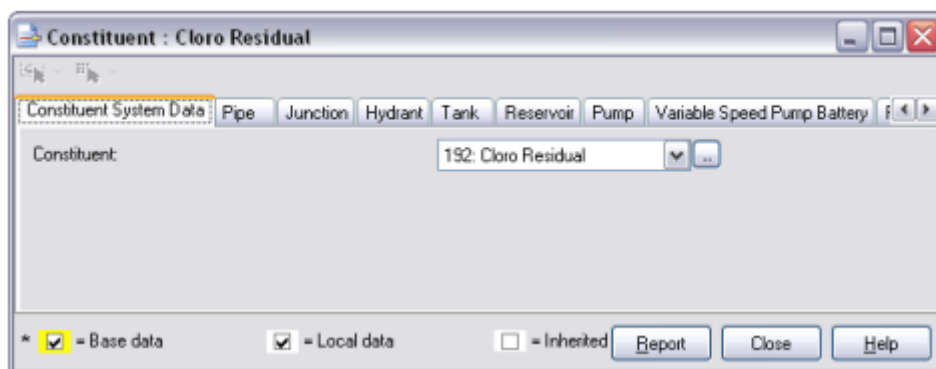
Figura 6
Propiedades de constituyente



Nota: (Bentley Institute, 2010)

Seleccionar la opción “**close**” y posteriormente seleccionar “**Cloro residual**” como constituyente para dicha alternativa.

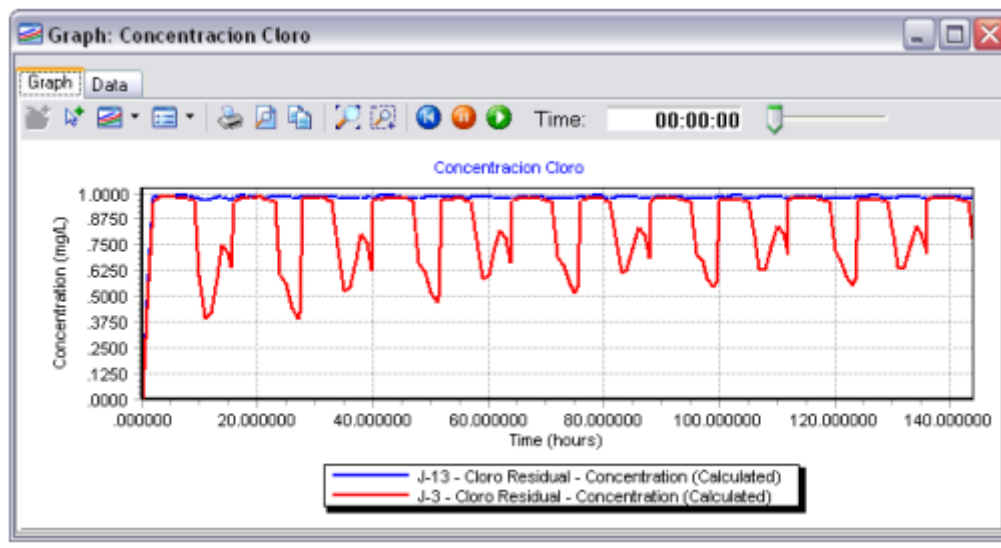
Figura 7
Selección de constituyente de sistema de datos



Nota: (Bentley Institute, 2010)

Definir la concentración inicial de cloro residual en los reservorios y seleccionar “**close**”, regresar al centro de control de escenarios y crear un nuevo escenario para el análisis del cloro residual, dar click derecho a la opción “**Make Current**” para abrir la ventana propiedades y para ver los resultados dar click en el botón compute.

Figura 8
Presentación de resultados



Nota: (Bentley Institute, 2010)

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN
Resultados

En primer lugar, para la obtención de los resultados, se realizó la identificación del lugar de estudio y los puntos de muestreo que se tomarían en cuenta para la presente investigación, se presenta las generalidades del sistema de estudio en la tabla 9, donde también se describe los códigos de agentes inmobiliarios (MVCS) para el centro poblado de Tankarpata.

Tabla 9
Generalidades de sistema

CENTRO POBLADO	TANKARPATA
Código MVCS	0801050031
Nombre sistema de agua	Checcollo
Administrador	JASS Tankarpata
N° de Familias	94
N° de Habitantes	387

Nota: Elaboración propia

A través de georreferenciación, se identificó el lugar de estudio y se ubicaron los puntos de muestreo, se presenta la ubicación y los puntos de muestreo en la Figura 7.

Figura 9

Ubicación de lugar de estudio (Jass Tankarpata)



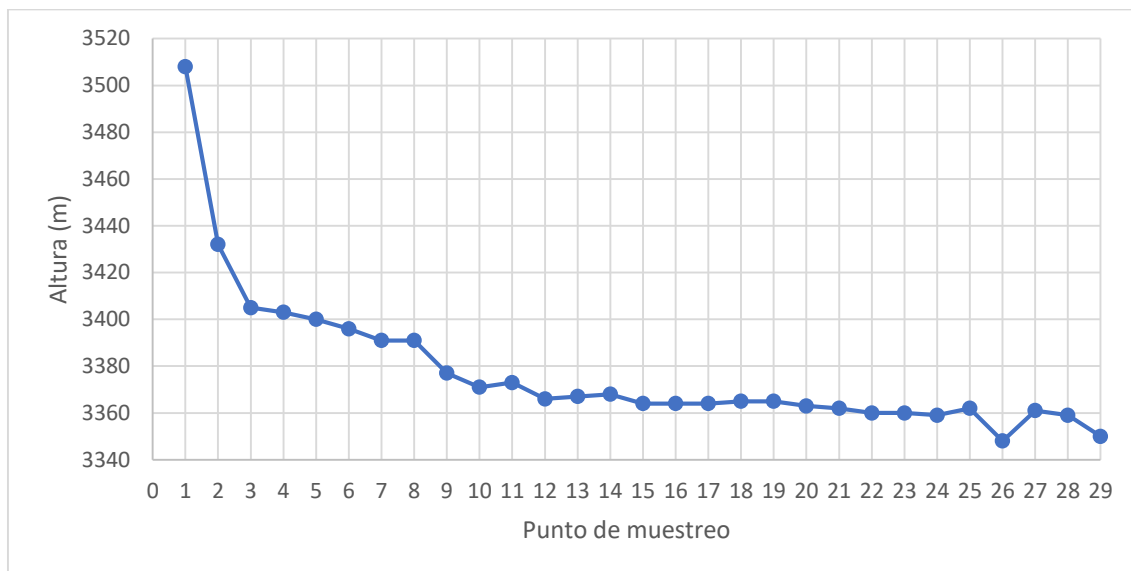
Nota: Elaboración propia aplicando coordenadas obtenidas con el GPS y colocadas en Google Earth

Los puntos mostrados en la siguiente tabla denotan los puntos de muestreo georreferenciados en la red de distribución JASS Tankarpata y sus correspondientes elevaciones.

Tabla 10
Puntos Georreferenciados

N° Punto	Código Punto	Elevación (m)
1	T-1	3508
2	0863	3432
3	0864	3405
4	0865	3403
5	0866	3400
6	0867	3396
7	0868	3391
8	0869	3391
9	0870	3377
10	0871	3371
11	0872	3373
12	0873	3366
13	0874	3367
14	0875	3368
15	0876	3364
16	0877	3364
17	0878	3364
18	0879	3365
19	0880	3365
20	0881	3363
21	0882	3362
22	0883	3360
23	0884	3360
24	0885	3359
25	0886	3362
26	0887	3348
27	0888	3361
28	0889	3359
29	0890	3350

Nota: Elaboración propia utilizando el GPS

Figura 10*Perfil de elevaciones en red de distribución*

Nota: Elaboración propia

El perfil mostrado de elevación anteriormente, siendo T-1 el punto inicial y 0890 el punto final conlleva a mencionar un correcto funcionamiento de las presiones en la red de distribución de agua potable del lugar de interés. Posterior a lo determinado anteriormente, se procedió a determinar las condiciones del sistema o la red de distribución de agua potable a estudiar, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11*Condiciones de sistema*

Condición	Valor
Tipo de Captación	Subterránea/Manantial
Caudal de agua alimentado a tanque (L/s)	0.84
Elevación de tanque respecto al suelo (m)	1
Altura de tanque (m)	2.65
Forma de tanque	Cubica
Temperatura (°C)	16
pH	7.85
Turbiedad (NTU)	0.27
Volumen útil (m ³)	52.45
Diámetro de tuberías en red principal (in)	2
Diámetro de tuberías en ramales (in)	1
Material de tuberías	PVC

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta todo lo mostrado anteriormente, se procedió a poner en marcha la investigación; para lo cual se realizó el muestreo en campo de los valores de cloro residual en los puntos determinados para el muestreo, tomando en cuenta los sistemas de dosificación de cloro de doble tanque y Venturi.

Resultados en campo de cloro residual con sistema doble tanque

Antes de realizar el muestreo se hicieron cálculos con las ecuaciones 8 y 9 para el caudal de hipoclorito de calcio necesario en base a las condiciones del sistema y a la concentración de este que era del 70%, que son las especificaciones técnicas con las que el producto se vende al mercado (Insumos Químicos Perú, 2022), el caudal necesario resultó ser de 245 ml/min de hipoclorito de calcio, además para la preparación y uso de la solución madre se tuvieron en cuenta los valores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12

Condiciones para preparación y uso de solución madre para sistema Doble Tanque

Condición	Valor
Volumen de solución madre (Litros)	1100
Hipoclorito de Calcio al 70 % (kg).	1.555
Tiempo de Duración (días)	15
Tiempo de Servicio Horas	5

Nota: Elaboración propia

El tiempo de duración y de servicio son valores que estiman los operadores del sistema. Posterior a lo mencionado, se procedió a instalar el sistema para ponerlo en marcha y luego realizar el muestreo correspondiente de 15 puntos de muestreo en la red de distribución con distancias de hasta 50 metros, del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13

Resultados de Cloro Residual en puntos de muestreo con Sistema Doble Tanque

Nº Punto	Código Punto	Cloro residual (PPM)
1	0863	0.96
2	0868	0.92
3	0872	0.84
4	0874	0.88

5	0875	0.86
6	0878	0.84
7	0789	0.7
8	0880	0.85
9	0883	0.86
10	0884	0.78
11	0885	0.76
12	0886	0.77
13	0887	0.72
14	0888	0.64
15	0889	0.62

Nota: Elaboración propia

Se muestran en la tabla anterior, los resultados para los 15 puntos de muestreo para cloro residual (ppm) en la red de distribución, se debe tener en cuenta que los puntos tienen entre si distancias próximas a 50 metros cumpliendo con lo establecido en el protocolo de procedimientos de toma de muestras mencionado en el acápite 3.3 del presente informe; se observa que los valores de cloro residual para el sistema doble tanque disminuyen con una media de 0.02 ppm a lo largo de la red de distribución.

Resultados en campo de cloro residual con sistema Venturi

Antes de realizar el muestreo se hicieron cálculos con las ecuaciones 8 y 9 para el caudal de hipoclorito de calcio necesario en base a las condiciones del sistema y a la concentración de este que era del 70% que son las especificaciones técnicas con las que el producto se vende al mercado (Insumos Químicos Perú, 2022), el caudal necesario resulto ser de 51 ml/min de hipoclorito de calcio, además para la preparación y uso de la solución madre se obtuvieron en cuenta los valores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14

Condiciones para preparación y uso de solución madre para sistema Venturi

Condición	Valor
Volumen de solución madre (Litros)	1100
Hipoclorito de Calcio al 70 % (kg).	1.244
Tiempo de Duración (días)	15
Tiempo de Servicio Horas	24

Nota: Elaboración propia

El tiempo de duración y de servicio son valores que estiman los operadores del sistema. Posterior a lo mencionado, se procedió a instalar el sistema para ponerlo en marcha y luego realizar el muestreo correspondiente del cual se obtuvieron los siguientes resultados, cabe resaltar que el reglamento de calidad de agua para consumo humano especifica que una eficaz desinfección implica concentraciones no menores a 0.5ppm. La concentración dentro de las tuberías en promedio se espera que sea de 50 ppm (Landeo, 2018).

Tabla 15

Resultados de Cloro Residual en puntos de muestreo con Sistema Venturi

Nº Punto	Código Punto	Cloro residual (PPM)
1	0863	0.81
2	0868	0.80
3	0872	0.79
4	0874	0.80
5	0875	0.79
6	0878	0.80
7	0789	0.80
8	0880	0.78
9	0883	0.77
10	0884	0.78
11	0885	0.77
12	0886	0.77
13	0887	0.76
14	0888	0.76
15	0889	0.75

Nota: Elaboración propia

Se muestran en la tabla anterior, los resultados para los 15 puntos de muestreo para cloro residual (ppm) en la red de distribución; se observa que los valores de cloro residual para el sistema Venturi disminuyen con una media de 0.01 ppm a lo largo de la red de distribución, por lo cual se observa una reducción menor respecto al sistema doble tanque.

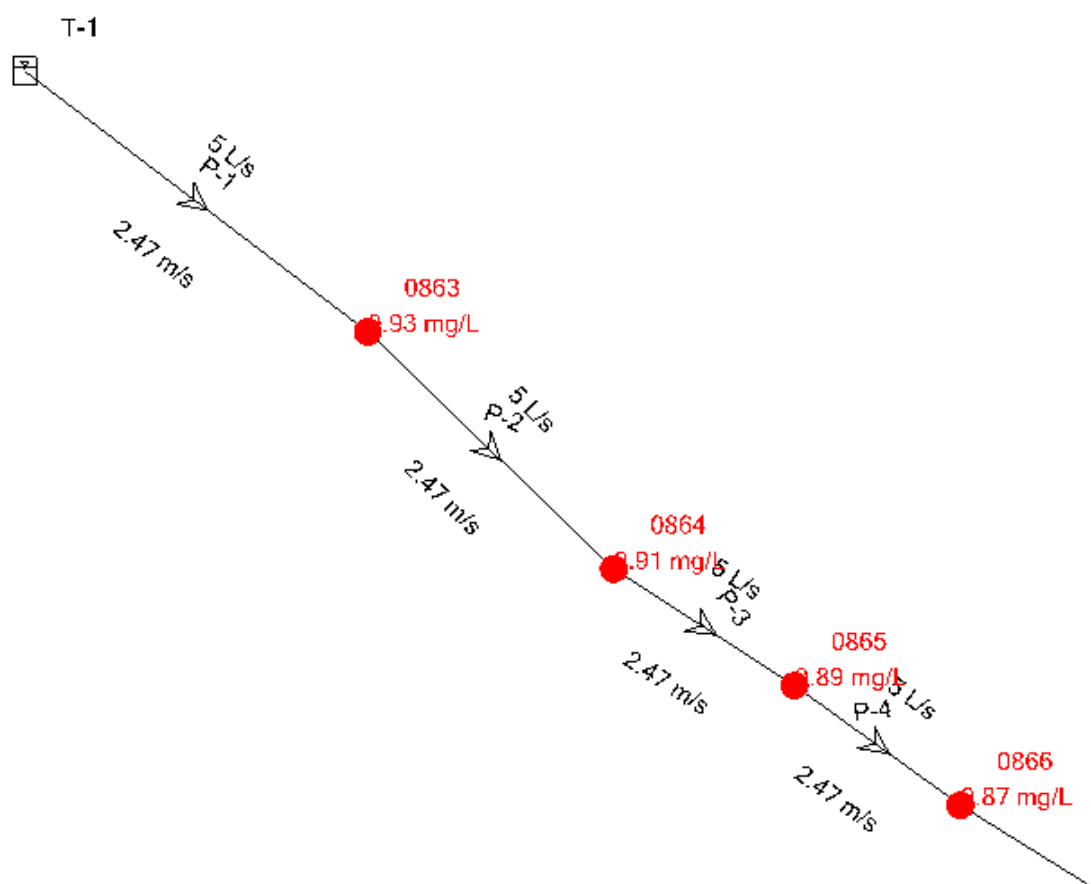
Modelación y simulación de cloro residual

Las condiciones y las cotas determinadas anteriormente ayudaron a modelar y simular el comportamiento del cloro a través del sistema de distribución en un

determinado periodo de tiempo; el modelamiento y la simulación se realizaron en el software WaterCAD que permite el análisis de constituyentes como el cloro residual.

Para proceder con la simulación y modelación del cloro residual, se procedió a esquematizar la red de distribución de agua potable del lugar de interés, para lo cual se hizo uso del programa WaterCAD y se tomaron en cuenta las cotas determinadas anteriormente y las distancias entre dichas cotas; además, de las condiciones del sistema como el diámetro de las tuberías y la demanda de agua potable en cada caño que se determinó experimentalmente con el procedimiento establecido por Huaquisto (2019) y cuyo resultado fue en promedio 0.2 L/s.

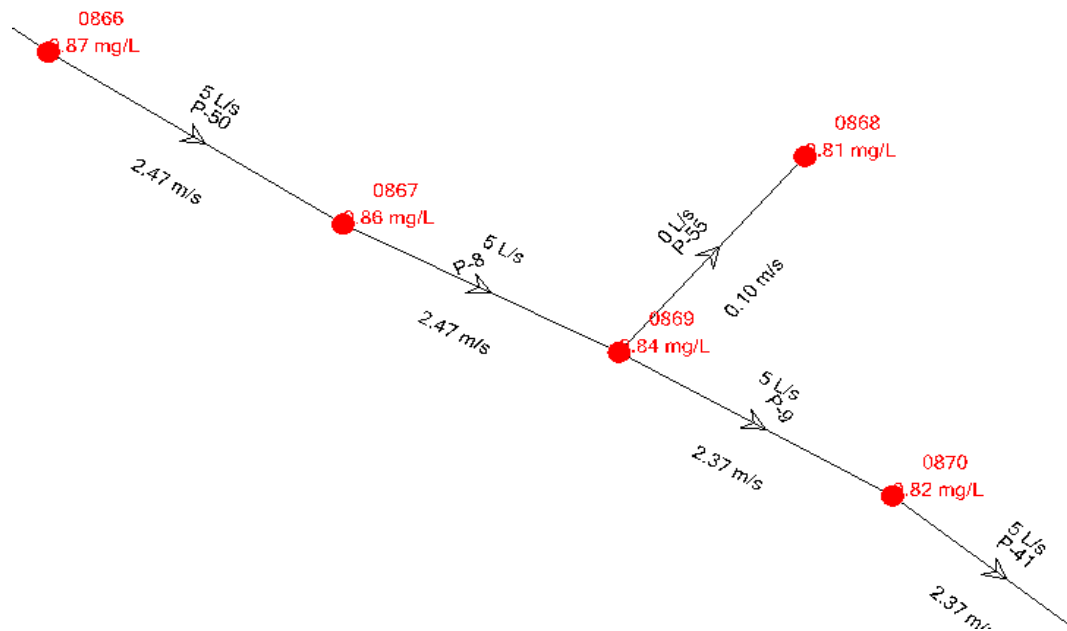
Figura 11
Esquematización sistema de distribución



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Figura 12

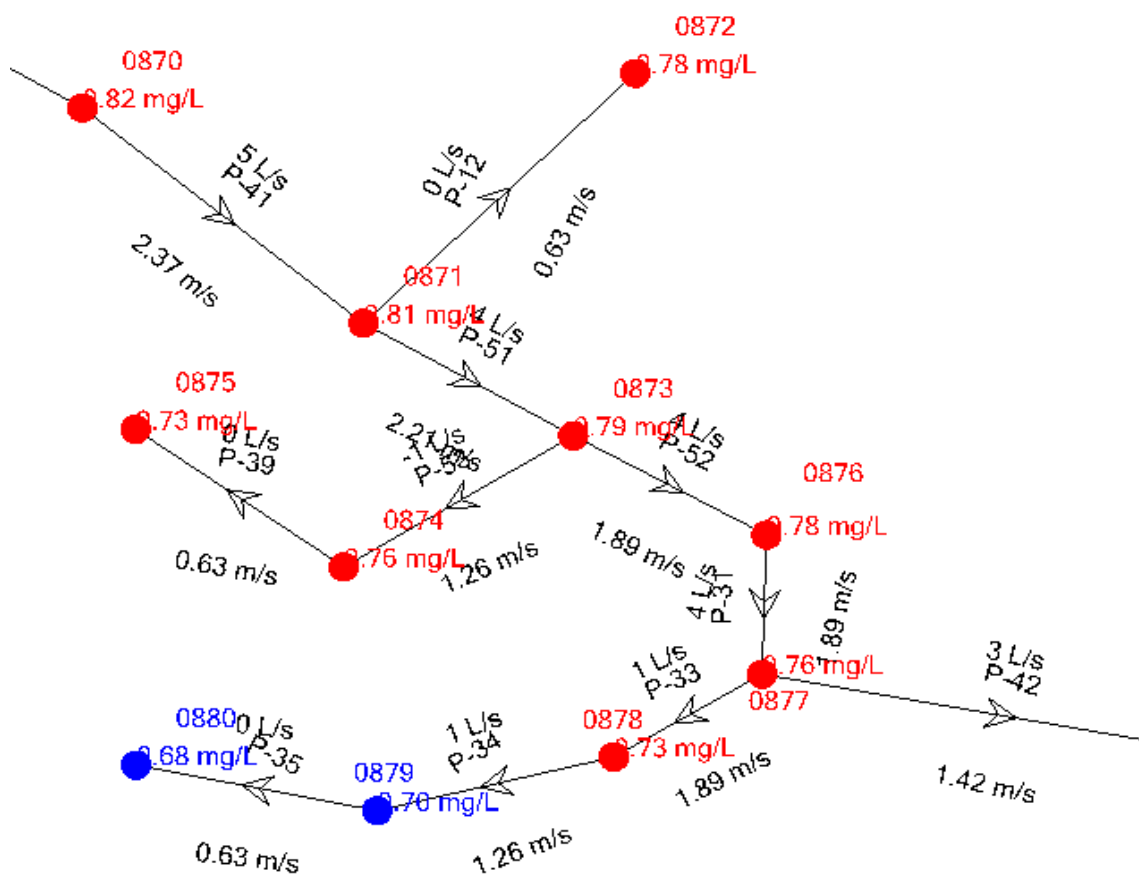
Esquematzación sistema de distribución (continuación)



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Figura 13

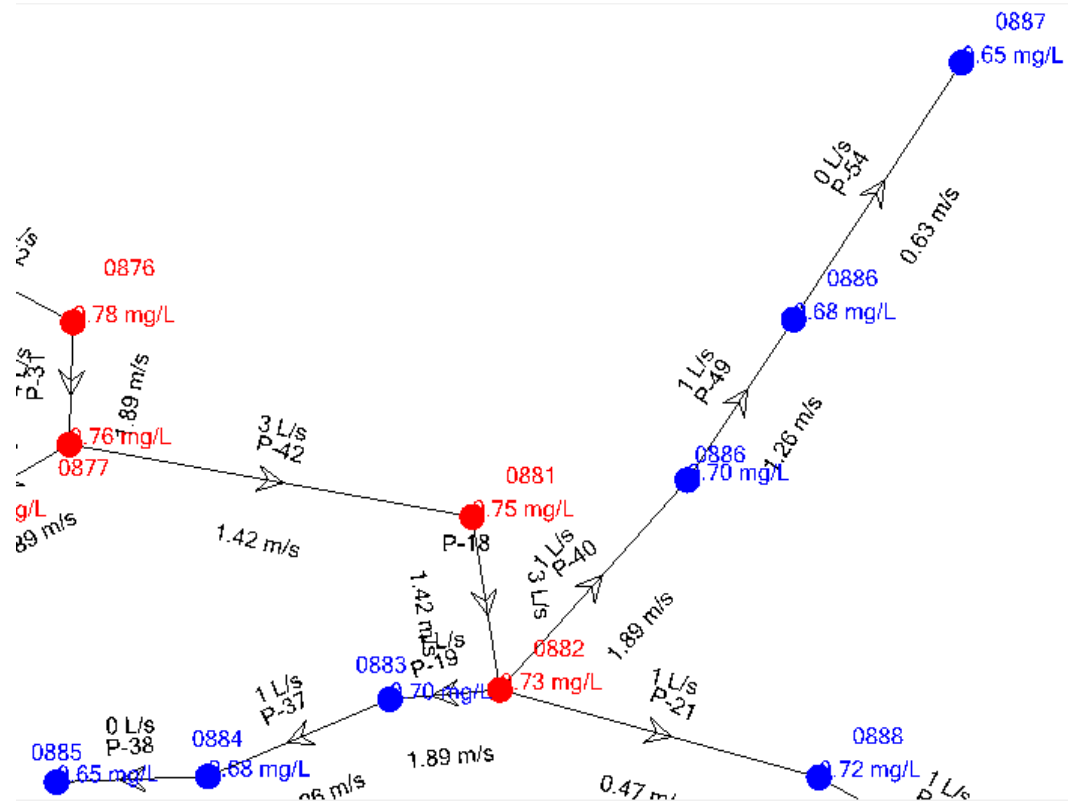
Esquematzación sistema de distribución (continuación)



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Figura 14

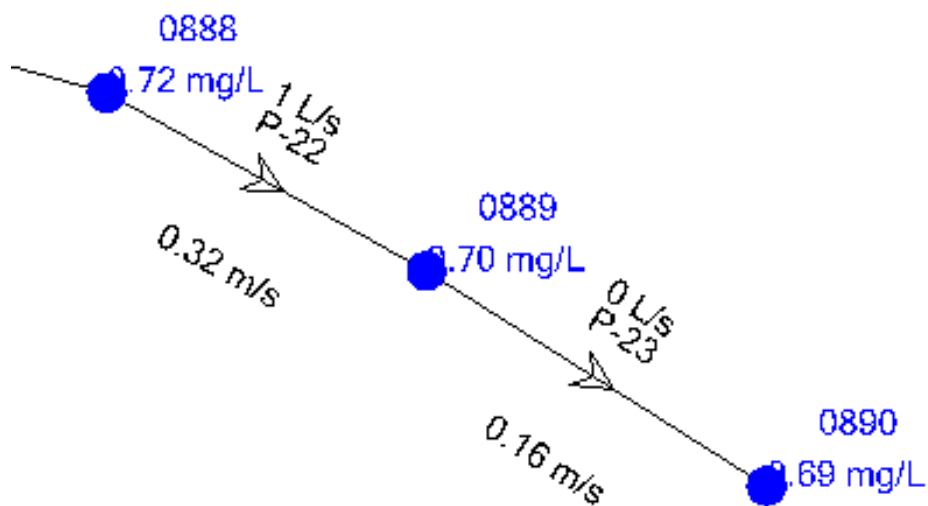
Esquematzación sistema de distribución (continuación)



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Figura 15

Esquematzación sistema de distribución (continuación)



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Se observa en las figuras anteriores la esquematización de la red de distribución que fue de utilidad para la realización del modelo de cloro residual y para tal fin, se alimentaron o ingresaron los datos necesarios al software, para lo cual se creó un constituyente en el que se añadieron los datos de difusividad molecular de cloro que es igual a $1.26 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ según Masciarelli & Gomez (2010) y los valores de coeficiente de reacción de masa “Kb” que se obtuvieron de estudios similares realizados tanto en sistemas de cloración de doble tanque y Venturi, como los de AQUA TEAM (2018) y Perez y Ramos (2018) que determinan valores de 0.132 y 0.026 respectivamente; además de ello se usó un valor de -0.06 m/día como coeficiente de reacción de pared (negativo debido a que el cloro se reduce debido al contacto con las paredes de las tuberías) que se determinó ajustando a las condiciones de simulación según se observó una mayor proximidad a los valores de campo tal como se muestra en el numeral 16.

Figura 16
Datos de constituyente

The screenshot shows the 'Constituents' dialog box in WaterCAD. The 'Label' list on the left contains 'Cloro residual'. The 'Properties' tab is active, showing the following settings:

Property	Value	Units
Diffusivity	1.260e-009	m ² /s
Unlimited Concentration?	<input checked="" type="checkbox"/>	
Concentration Limit	0.00	mg/L
Bulk Reaction Order	1	
Bulk Reaction Rate	-0.026	(mg/L) ⁽¹⁻ⁿ⁾ /day
Wall Reaction Order	First Order	
First Order Wall Reaction Rate	-0.060	m/day
Is Roughness Correlated?	<input type="checkbox"/>	

Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Posterior a lo realizado anteriormente, se crearon alternativas tanto para la demanda y para el constituyente con el fin de que el sistema pueda considerar las variaciones horarias de la demanda de agua por punto y la simulación del cloro residual;

posterior a ello se asignaron los valores de concentración inicial de cloro en el reservorio que se determinó con la ayuda de los muestreos realizados cuyo valor fue de 1 mg/L.

Figura 17
Concentración inicial de cloro en reservorio

	?	Pattern (Constituent)	Constituent Source Type	Concentration (Base) (mg/L)	Mass Rate (Base) (mg/s)	Concentration (Initial) (mg/L)
49: T-1		Fixed	Concentration	0.00	0.00	1.00

Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Adicionalmente, se asignó un código de colores para rangos determinados de concentraciones, tal como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 18
Código de colores para concentraciones de cloro residual

Color Coding Properties - Concentration (Calculated)

Properties

Field Name: Concentration (Calculated) >

Selection Set: <All Elements>

Calculate Range

Minimum: 0.00 mg/L

Maximum: 0.97 mg/L

Steps: 4

Color Maps

Options: Color

	Value <= (mg/L)	Color
0	0.24	0; 255; 0
1	0.49	0; 255; 255
2	0.73	0; 0; 255
3	0.97	255; 0; 0
*		

Above Range Color:

Above Range Size: 4

OK Cancel Apply Help

Nota: Elaboración propia con WaterCAD

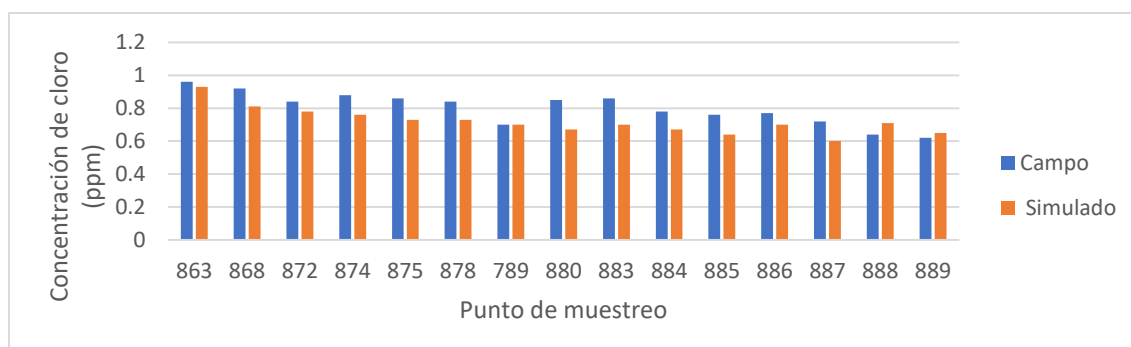
Posterior a lo realizado y a los ajustes que se hicieron al sistema, se procedió a simular obteniendo de ello los valores de concentración de cloro residual para poder verificar y analizar la proximidad con los datos obtenidos en campo para los dos sistemas. La simulación realiza los cálculos a través de la expresión que define la variación de la concentración del cloro en los tres ejes, considera también a la distancia de la tubería y la tasa de reacción de cloro.

Tabla 16*Resultados de Cloro Residual simulado con Sistema Doble tanque*

Nº Punto	Código Punto	Cloro residual (PPM) en campo	Cloro residual (PPM) simulado
1	0863	0.96	0.82
2	0868	0.92	0.78
3	0872	0.84	0.77
4	0874	0.88	0.74
5	0875	0.86	0.74
6	0878	0.84	0.71
7	0789	0.7	0.68
8	0880	0.85	0.71
9	0883	0.86	0.68
10	0884	0.78	0.65
11	0885	0.76	0.71
12	0886	0.77	0.65
13	0887	0.72	0.72
14	0888	0.64	0.71
15	0889	0.62	0.69

Nota: Elaboración propia con WaterCAD

En la tabla anterior se pueden observar los resultados de los valores de cloro residual determinados a partir de una expresión para reacción de primer orden que se estableció inicialmente (ver figura 16) y simulados en la red de distribución de agua potable con sistema de cloración doble tanque; respecto a los resultados de campo se realizaron las comparaciones respectivas y el análisis de ANOVA para cada caso.

Figura 19*Comportamiento de resultados de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación doble tanque*

Nota: Elaboración propia

Los resultados anteriores muestran el comportamiento de cloro residual de campo y simulados para el sistema doble tanque, se puede apreciar que los valores de simulaciones en gran parte de los puntos de muestreo son menores a los valores obtenidos en campo, esto puede deberse a las condiciones de simulación que por el momento aún consideran factores hipotéticos como la reacción del cloro con las paredes de las tuberías, el cual ocasiona que el consumo de cloro sea próximo y por tanto se experimenten disminuciones aproximadas de la concentración de cloro residual. Landeo (2018) recomienda que durante la presencia de turbidez mayor a 5 NTU se pare la cloración debido a que puede ocasionar que se generen productos dañinos para la salud si el agua tratada tiene materia orgánica, en este caso la turbidez puede incrementar la tasa de reacción del cloro con las paredes de la tubería y alterar el modelo.

El análisis de varianza realizado para los resultados obtenidos con el sistema de cloración con el sistema doble tanque dio los valores que se muestran en la siguiente tabla, F de Fisher igual a 8.55 frente a valor crítico para F que fue de 4.20, a partir de los cuales se evidencia que las varianzas de cada grupo tienen diferencia significativa entre sí y los valores obtenidos en la simulación se alejan de los obtenidos en campo.

Tabla 17

Resultados ANOVA para resultados de Sistema Doble tanque

F	Probabilidad	Valor crítico para F
8.55	0.007	4.20

Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Resultados de Cloro Residual simulado con Sistema Venturi

Nº Punto	Código Punto	Cloro residual en campo (PPM)	Cloro residual simulado (PPM)
1	0863	0.81	0.85
2	0868	0.8	0.81
3	0872	0.79	0.8
4	0874	0.8	0.77

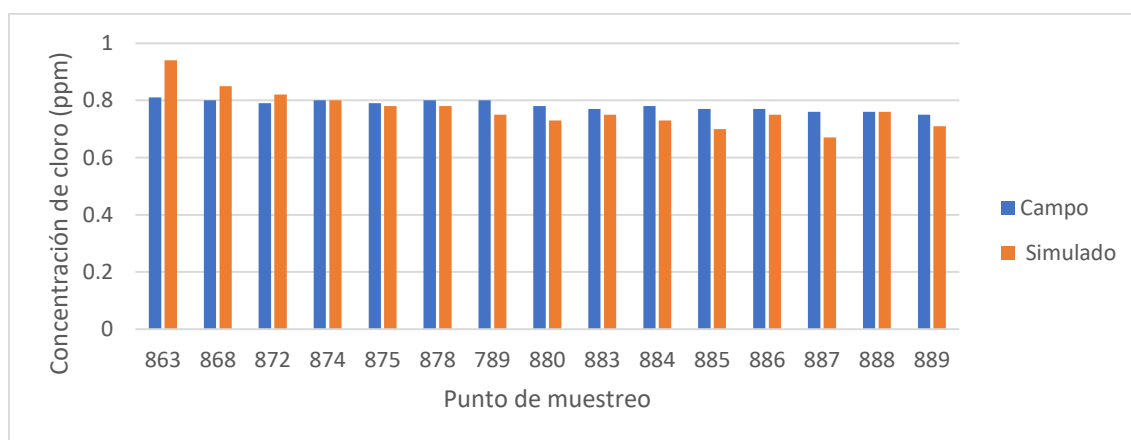
5	0875	0.79	0.77
6	0878	0.8	0.74
7	0789	0.8	0.71
8	0880	0.78	0.74
9	0883	0.77	0.71
10	0884	0.78	0.68
11	0885	0.77	0.74
12	0886	0.77	0.67
13	0887	0.76	0.75
14	0888	0.76	0.74
15	0889	0.75	0.72

Nota: Elaboración propia

En la tabla anterior se pueden observar los resultados de los valores de cloro residual simulados en la red de distribución de agua potable con sistema de cloración Venturi; respecto a los resultados de campo se realizaron las comparaciones respectivas y el análisis de ANOVA para cada caso.

Figura 20

Comportamiento de resultados de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación Venturi



Nota: Elaboración propia

Los resultados anteriores muestran el comportamiento de cloro residual de campo y simulados para el sistema doble tanque, se puede apreciar que los valores de simulaciones en gran parte de los puntos de muestreo son menores a los valores obtenidos en campo, esto puede deberse al nivel de turbidez y/o incrustaciones calcáreas en las tuberías de agua de la simulación que adquiere un valor ideal ya que no se consideraron pérdidas menores por accesorios en el sistema, el cual ocasiona que el consumo de cloro

sea mayor y por tanto disminuya la concentración de cloro residual. Perez y Ramos (2018) indican que la turbidez tiene un papel importante en el consumo de cloro, por lo que la OMS recomienda siempre mantener esta turbidez por debajo de 5 NTU.

El análisis de varianza realizado para los resultados obtenidos con el sistema de cloración con el sistema doble tanque dio los valores que se muestran en la siguiente tabla, valor F de Fisher igual a 7.05 frente a un valor crítico para F de 4.19, a partir de los cuales se evidencia que las varianzas de cada grupo tienen diferencia significativa entre sí y los valores obtenidos en la simulación se alejan de los obtenidos en campo.

Tabla 19

Resultados ANOVA para resultados de Sistema Venturi

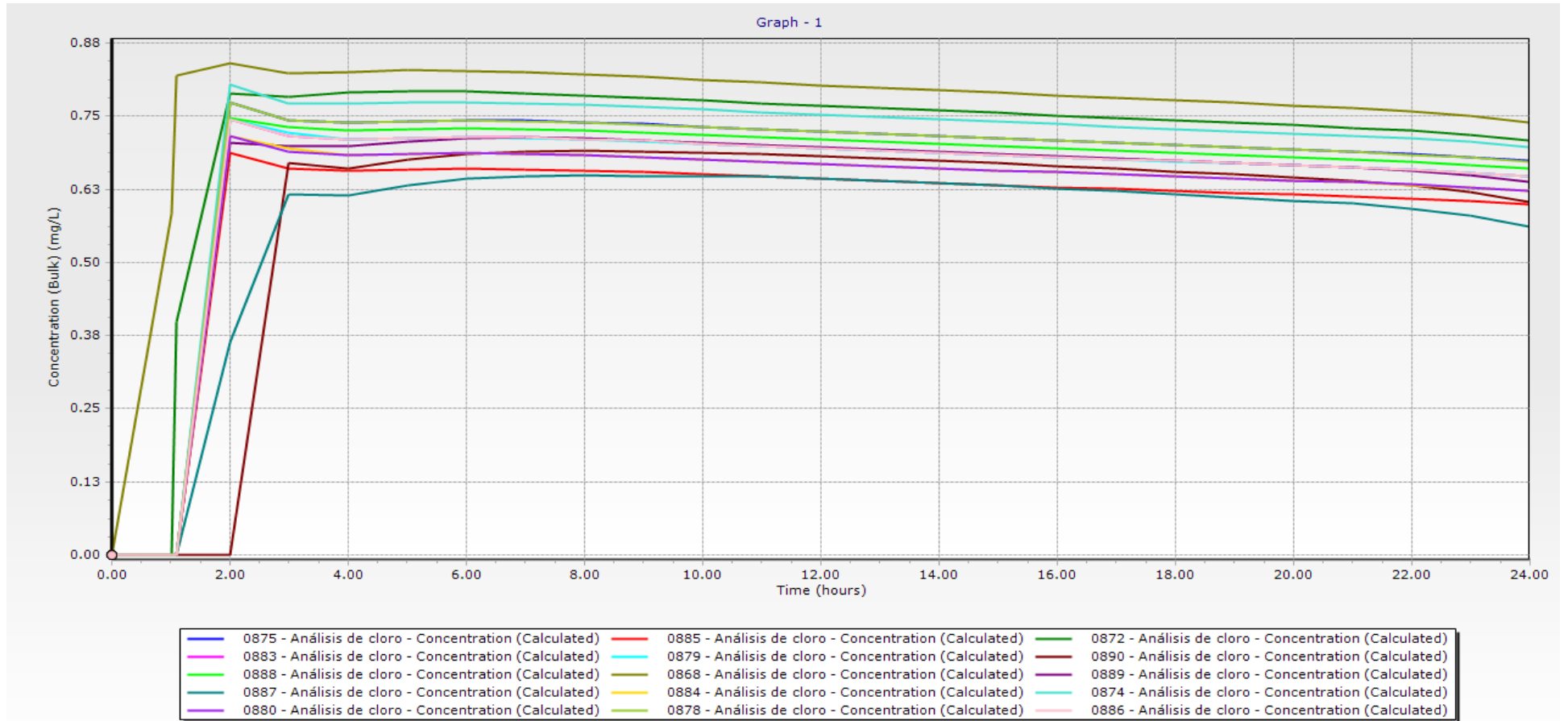
F	Probabilidad	Valor crítico para F
7.05	0.012	4.19

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que se presenta mayor proximidad en el caso del sistema de cloración Venturi y respecto a los resultados de la simulación del comportamiento del cloro en la red de distribución a través del tiempo para cada punto, se muestra en la siguiente Figura.

Figura 21

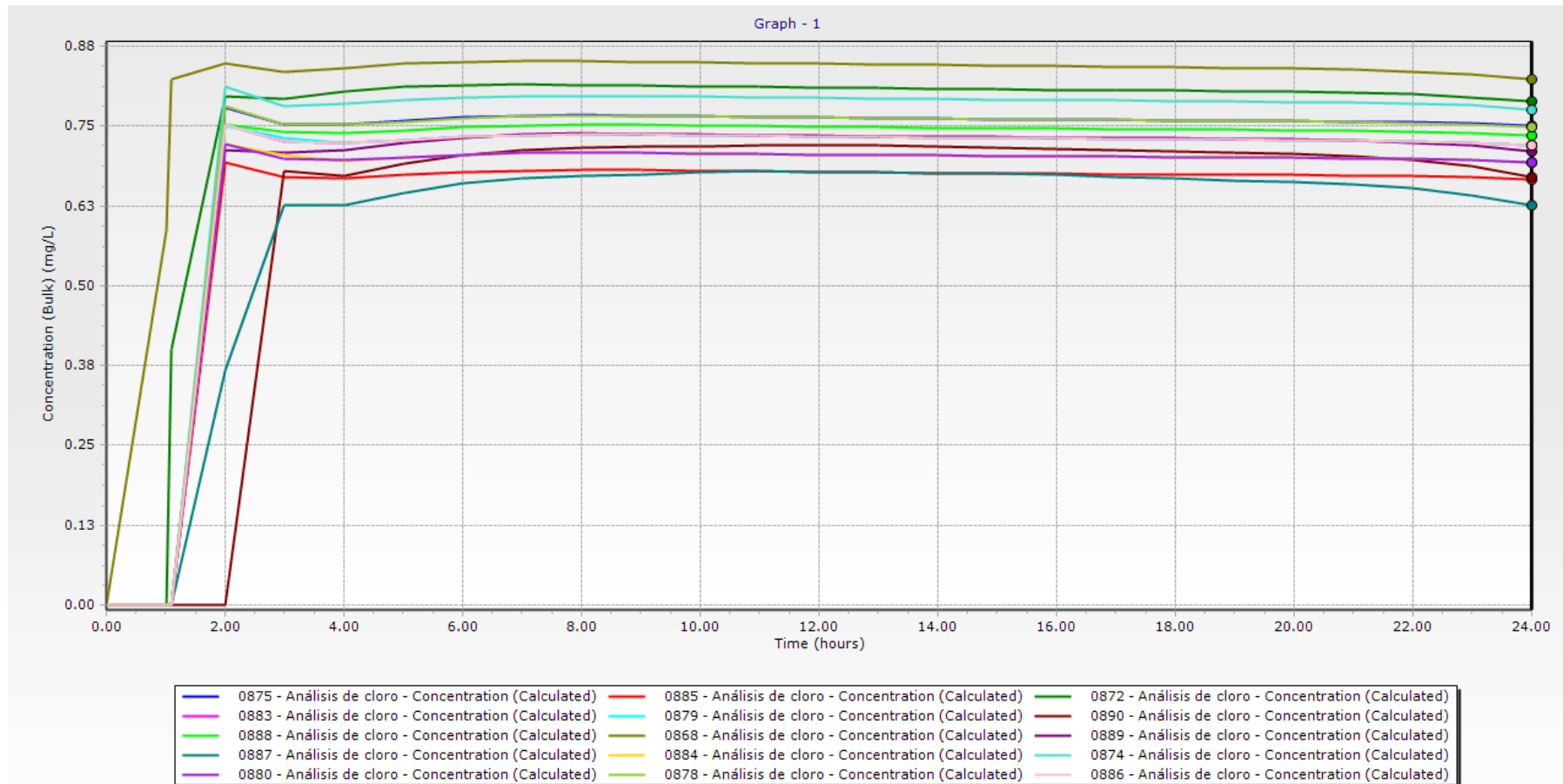
Comportamiento de concentración de cloro residual con sistema doble tanque



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Figura 22

Comportamiento de resultados de concentración de cloro residual con sistema Venturi



Nota: Elaboración propia con WaterCAD

En cuanto al comportamiento del cloro residual a lo largo del tiempo, se evidencia una mayor persistencia del cloro en el sistema Venturi. Por ende, este sistema se revela como más eficiente debido al comportamiento descrito en contraste con el sistema de doble tanque en la red de distribución del sector de Tankarpata. Esto se observa tanto en la disminución de la concentración de cloro a lo largo del tiempo como en el valor de R^2 (coeficiente de ajuste de regresión) obtenido para ambos sistemas (ver Anexo 5) que resulto ser de 49% para el sistema doble tanque y 49.4% para el sistema Venturi y aunque la diferencia no es significativa en este punto de la investigación, esto cambiará más adelante.

Respecto a las hipótesis planteadas anteriormente, se procede a realizar la validación de estas:

Se acepta que el modelado matemático del cloro residual permite evaluar el comportamiento de la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución para los sistemas de dosificación de cloro doble tanque y Venturi, tal es así que los comportamientos real y simulado se aproximan más en cuanto se tenga mayor certeza de las condiciones de operación del sistema.

Se acepta que la simulación ayuda a determinar las condiciones de operación reales para los sistemas de dosificación de cloro doble tanque y Venturi, siendo estas condiciones cercanas a las simuladas de acuerdo al modelo matemático establecido para el cloro residual, tal es así que se determinó el coeficiente de reacción en las paredes de las tuberías que resulto ser de 0.06 m/día, el coeficiente de reacción de masa que resulto ser de 0.133 y 0.026 para el sistema de Doble tanque y Venturi respectivamente; dichos valores se determinaron en función a las condiciones de operación que se validan, mediante la comparación de valores de cloro residual obtenidos en condiciones reales y las condiciones simuladas, siendo estas últimas cercanas a la realidad, tal es así que se

presentan variaciones en ambos resultados con aproximaciones bastante cercanas, lo que da soporte a una correcta ejecución de la simulación puesto que la variación promedio entre los valores de campo y la simulación es de 0.03 ppm y está dentro de la sensibilidad que maneja incluso el equipo de medición de cloro residual (1.68 ppm).

La eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro Doble tanque y Venturi es alta debido a que presenta aproximación a los valores establecidos de cloro residual libre en Reglamento de la calidad del agua para consumo humano “DS N° 031-2010-SA” (no menor de 0.5 mgL⁻¹ de cloro residual libre), en instituciones prestadoras de servicio in situ y a lo largo de la red de distribución, tal es así que ambos sistemas presentan ventajas y desventajas, el sistema de Doble tanque presenta dificultad operativa, periodos de operación cortos y considerable baja en las concentraciones de cloro a lo largo de la red de distribución, en cambio el sistema Venturi presenta facilidad de operación, un periodo de cloración extendido por 24 horas que ayuda a mantener los valores de cloro a lo largo de la red de distribución.

Calibración de simulación de cloro residual para sistema doble tanque

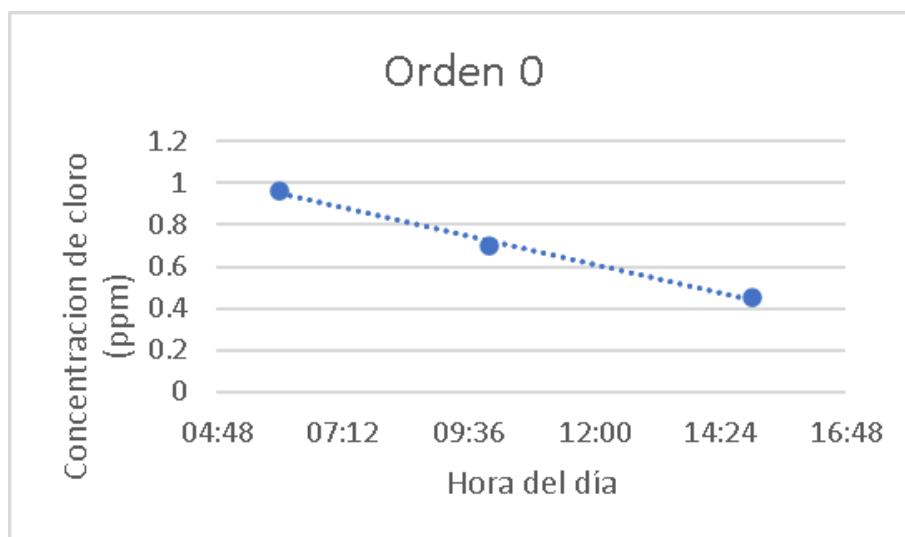
Para la calibración del modelo de cloro residual, se realizó el cálculo del coeficiente de reacción de masa (k_b) teniendo en cuenta el decaimiento de cloro a través del tiempo y el orden de reacción que se determinó a través de las gráficas de decaimiento de cloro y el coeficiente de correlación R^2 ; como menciona Brown (2004), para orden 0 se realizó una gráfica concentración en función del tiempo, para orden 1 se realizó una gráfica de logaritmo neperiano de la concentración en función del tiempo y para orden 2 se realizó un gráfico de uno sobre la concentración en función del tiempo con los datos obtenidos en campo, tal como se muestra a continuación.

Tabla 20*Resultados decaimiento de concentración de cloro*

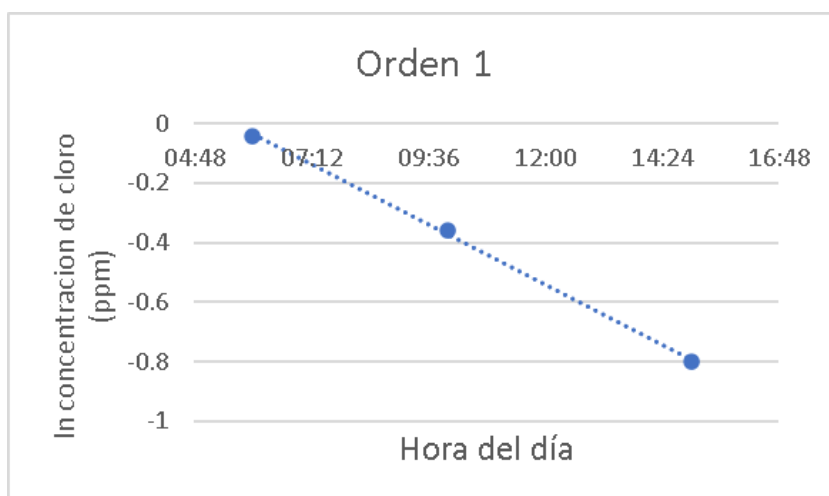
N° de punto	Punto de muestreo	Doble Tanque		
		6:00 a. m.	10:00 a. m.	3:00 p. m.
Concentración (ppm)				
1	0863	0.96	0.70	0.45
2	0868	0.92	0.69	0.42
3	0872	0.84	0.68	0.40
4	0874	0.88	0.64	0.41
5	0875	0.86	0.64	0.39
6	0878	0.84	0.62	0.37
7	0789	0.70	0.61	0.38
8	0880	0.85	0.61	0.38
9	0883	0.86	0.59	0.38
10	0884	0.78	0.59	0.36
11	0885	0.76	0.57	0.37
12	0886	0.77	0.56	0.35
13	0887	0.72	0.56	0.33
14	0888	0.64	0.55	0.32
15	0889	0.62	0.55	0.33

Nota: Elaboración propia

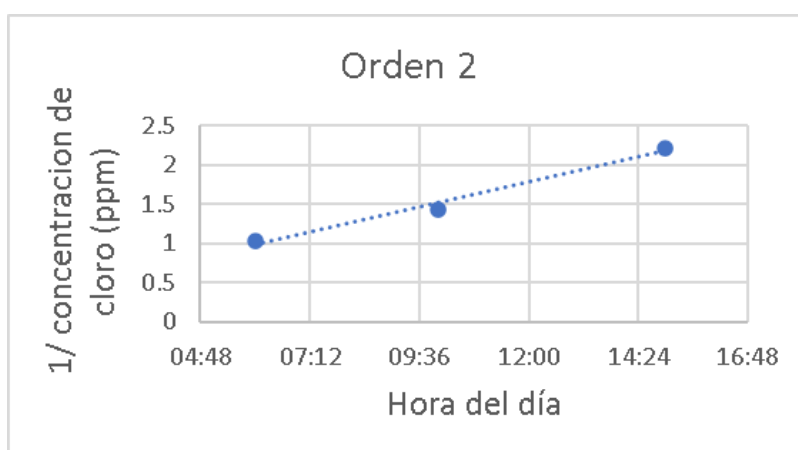
En la tabla anterior se muestran los valores de concentración de cloro en diferentes horas del día, con dichos datos se realizan las gráficas de concentración en función del tiempo y se determinó el orden de reacción tal como se muestra a continuación.

Figura 23*Cinética de orden 0 para el punto de muestreo 0868*

Nota: Elaboración propia

Figura 24*Cinética de primer orden para el punto de muestreo 0868*

Nota: Elaboración propia

Figura 25*Cinética de segundo orden para el punto de muestreo 0868*

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con las gráficas presentadas anteriormente, se determinaron los valores del coeficiente de correlación para cada uno cuyos valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21*Resultados valor de coeficiente de correlación para cada orden de reacción*

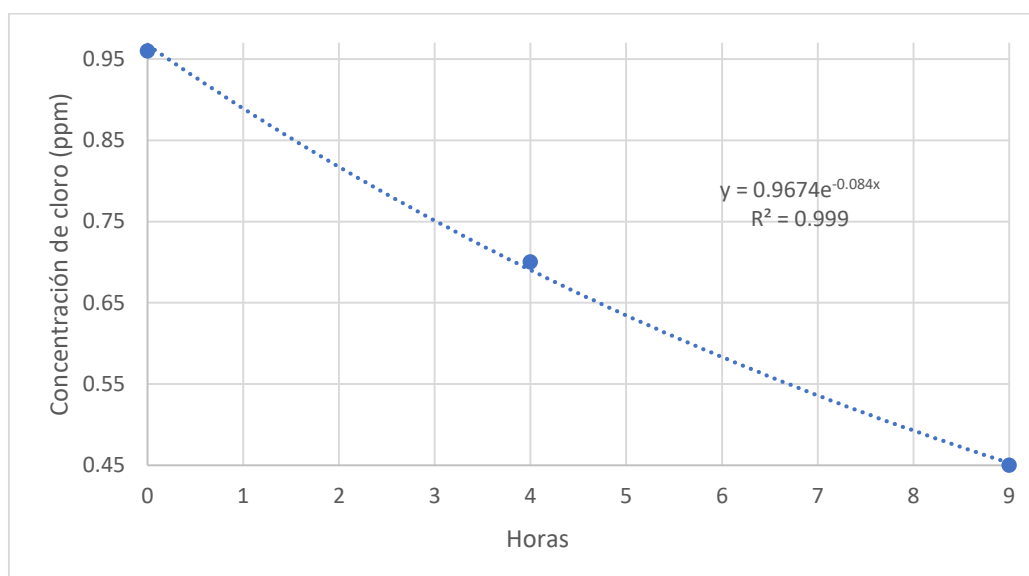
Orden	R ²
Orden 0	0.9943
Orden 1	0.999
Orden 2	0.9826

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con los valores presentados en la tabla anterior se puede observar que el orden de reacción 1 es el que más se ajusta al decaimiento de cloro en el tiempo, por lo que se usó dicho orden en la simulación y para la determinación del coeficiente de reacción (k_b) se determinaron valores de este, a través de la ecuación de una línea de tendencia exponencial cuyo valor de ajuste R^2 es de 0.9989 proveniente de una gráfica de decaimiento de cloro en cada punto de muestreo, tal como se presenta a continuación para el punto 0863 en el que el valor del exponente representa el valor de k_b .

Figura 26

Concentración de cloro y tiempo para el punto de muestreo 0863 con línea de tendencia exponencial



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con la gráfica anterior se observa que para el punto 0863 el valor del coeficiente de reacción de masa k_b para un orden de reacción 1 es de 0.084 h^{-1} que equivale a 2.016 día^{-1} , del mismo modo se calcularon los valores de k_b para los demás puntos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22

Resultados coeficiente de reacción de masa sistema Doble Tanque

Punto de muestreo muestra	k_b
0863	0.084
0868	0.088
0872	0.083

0874	0.085
0875	0.088
0878	0.092
0789	0.069
0880	0.09
0883	0.091
0884	0.086
0885	0.08
0886	0.088
0887	0.087
0888	0.078
0889	0.071
promedio	0.084

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con los valores mostrados del coeficiente de reacción de masa en cada uno de los puntos de muestreo, se calculó el promedio de dichos valores que resultó de 0.084 h^{-1} que equivale a 2.016 día^{-1} . Con el valor calculado se procedió a realizar la simulación nuevamente y evaluar los datos obtenidos de cloro residual, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23

Resultados con calibración de Cloro Residual simulado con Sistema Doble tanque

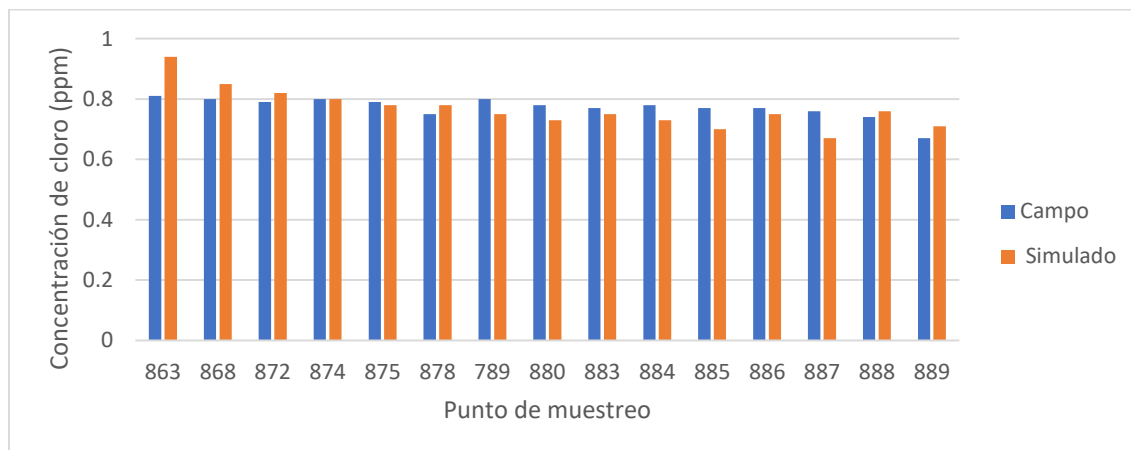
Nº Punto	Código Punto	Cloro residual (PPM) Campo	Cloro residual (PPM) simulado
1	0863	0.96	0.93
2	0868	0.92	0.81
3	0872	0.84	0.78
4	0874	0.88	0.76
5	0875	0.86	0.73
6	0878	0.84	0.73
7	0789	0.7	0.7
8	0880	0.85	0.67
9	0883	0.86	0.7
10	0884	0.78	0.67
11	0885	0.76	0.64
12	0886	0.77	0.7
13	0887	0.72	0.6
14	0888	0.64	0.71
15	0889	0.62	0.65

Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Los resultados observados en la tabla anterior se comparan con los datos obtenidos en campo y se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 27

Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Doble Tanque



Nota: Elaboración propia

En la gráfica anterior se puede observar que la variabilidad presentada con anterioridad en los resultados sin calibración de los datos de cloro residual aún permanece, más sin embargo se presenta mayor proximidad, para definir este aspecto se realiza un nuevo análisis.

El análisis de varianza realizado para los resultados obtenidos después de los ajuste realizados para el sistema de cloración doble tanque dio los valores que se muestran en la siguiente tabla, F de Fisher igual a 6.14 frente a valor crítico para F que fue de 4.20, a partir de los cuales se evidencia que las varianzas de cada grupo tienen diferencia significativa entre sí y los valores obtenidos en la simulación se alejan de los obtenidos en campo pero en menor proporción a los obtenidos anteriormente mejorando el resultado de la simulación.

Tabla 24

ANOVA para resultados de Sistema Doble tanque con calibración

F	Probabilidad	Valor crítico para F
6.14	0.019	4.20

Nota: Elaboración propia

Calibración de simulación de cloro residual para sistema Venturi

Respecto al sistema Venturi se realizó el mismo procedimiento realizado anteriormente para determinar los valores del coeficiente de reacción de masa, tal como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 25

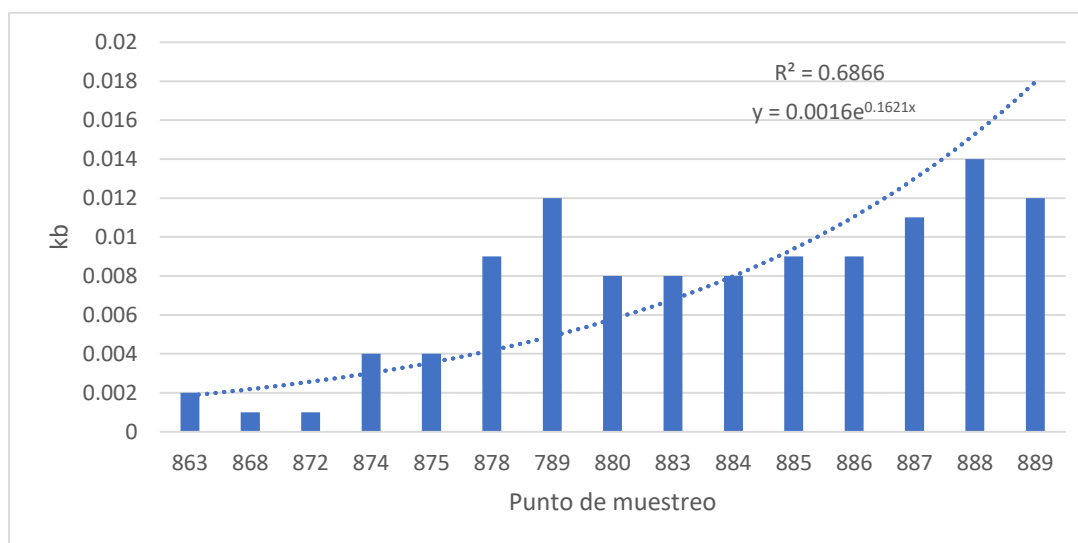
Resultados decaimiento de concentración de cloro en sistema Venturi

Número de punto	Punto de muestreo	Venturi		
		6:00 a. m.	10:00 a. m.	3:00 p. m.
		Concentración (ppm)		
1	0863	0.81	0.80	0.79
2	0868	0.80	0.81	0.79
3	0872	0.79	0.79	0.78
4	0874	0.80	0.79	0.77
5	0875	0.79	0.78	0.76
6	0878	0.80	0.76	0.73
7	0789	0.80	0.75	0.71
8	0880	0.78	0.75	0.72
9	0883	0.77	0.73	0.71
10	0884	0.78	0.74	0.71
11	0885	0.77	0.72	0.70
12	0886	0.77	0.71	0.70
13	0887	0.76	0.71	0.68
14	0888	0.76	0.69	0.66
15	0889	0.75	0.68	0.66

Nota: Elaboración propia

Figura 28

Coefficientes de reacción de masa y puntos de muestreo para el sistema Venturi con línea de tendencia exponencial



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con la gráfica anterior se observa que para el punto 0863 el valor del coeficiente de reacción de masa k_b para el sistema Venturi es 0.002 h^{-1} que equivale a 0.048 día^{-1} , del mismo modo se calcularon los valores de k_b para los demás puntos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26

Resultados coeficiente de reacción de masa sistema Venturi

Punto de muestreo muestra	k_b
0863	0.002
0868	0.001
0872	0.001
0874	0.004
0875	0.004
0878	0.009
0789	0.012
0880	0.008
0883	0.008
0884	0.008
0885	0.009
0886	0.009
0887	0.011
0888	0.014
0889	0.012
promedio	0.007

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con los valores mostrados del coeficiente de reacción de masa en cada uno de los puntos de muestreo, se calculó el promedio de dichos valores que resultó de 0.007 h^{-1} que equivale a 0.17 día^{-1} , siendo este valor que más varía entre los puntos 0863 al 0878 y por tanto la velocidad de reacción no es más grande comparable a puntos más distantes a la planta de tratamiento. Con el valor calculado se procedió a realizar la simulación nuevamente y a evaluar los datos obtenidos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27

Resultados con calibración de Cloro Residual simulado con Sistema Venturi

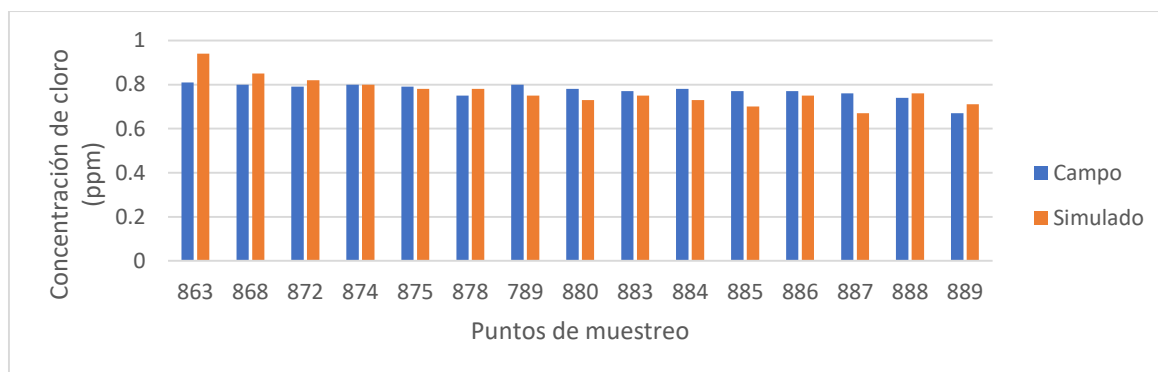
Nº Punto	Punto	Cloro residual (PPM) Campo	Cloro residual (PPM) simulado
1	0863	0.81	0.94
2	0868	0.8	0.85
3	0872	0.79	0.82
4	0874	0.8	0.8
5	0875	0.79	0.78
6	0878	0.8	0.78
7	0789	0.8	0.75
8	0880	0.78	0.73
9	0883	0.77	0.75
10	0884	0.78	0.73
11	0885	0.77	0.7
12	0886	0.77	0.75
13	0887	0.76	0.67
14	0888	0.76	0.76
15	0889	0.75	0.71

Nota: Elaboración propia con WaterCAD

Los resultados observados en la tabla anterior se comparan con los datos obtenidos en campo y se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 29

Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi



Nota: Elaboración propia

En la gráfica anterior se puede observar que la variabilidad presentada con anterioridad en los resultados sin calibración de los datos de cloro residual aún permanece, sin embargo, se presenta en esta mayor proximidad, para definir este aspecto se realiza un nuevo análisis.

El análisis de varianza realizado para los resultados obtenidos después de los ajuste realizados para el sistema de cloración Venturi dio los valores que se muestran en la siguiente tabla, F de Fisher igual a 0.04 frente a valor crítico para F que fue de 4.19, a partir de los cuales se evidencia que las varianzas de cada grupo tienen diferencia entre sí y los valores obtenidos en la simulación se aproximan entre a los obtenidos en campo en mayor proporción a los obtenidos anteriormente mejorando el resultado de la simulación.

Tabla 28

ANOVA para resultados de Sistema Venturi con calibración

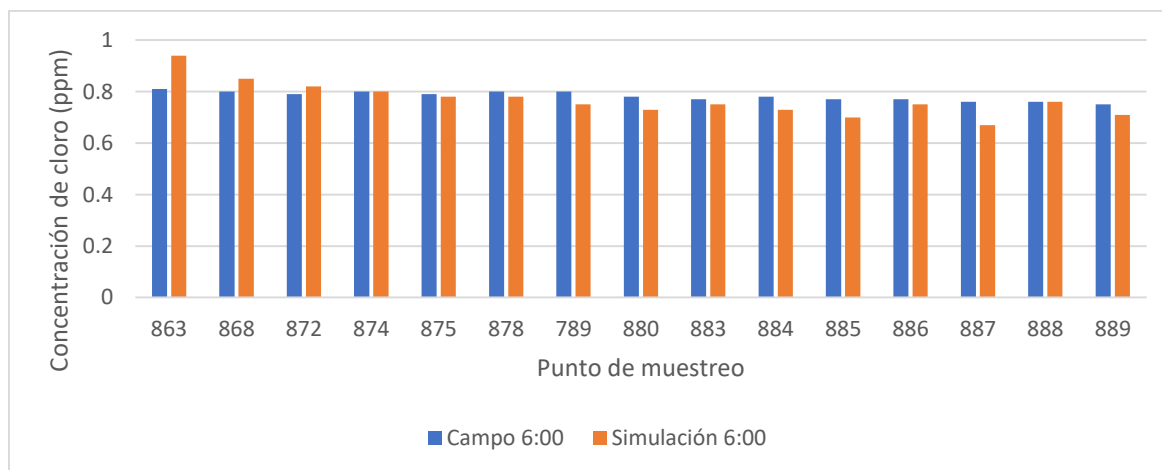
F	Probabilidad	Valor crítico para F
0.04413793	0.835118492	4.19597182

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, se observa que el sistema Venturi se adapta mejor a la simulación al presentar menor variabilidad de valores de concentración tanto en los valores obtenidos en campo como en la simulación que brinda proximidad de datos entre sí en comparación al sistema doble tanque; es así que también se comparan resultados a diferentes horas del día para el sistema Venturi, determinados a partir de la reacción de primer orden referenciado en la tabla 7 y mostrado páginas adelante en la ecuación 17 del presente informe, resultando los siguientes gráficos.

Figura 30

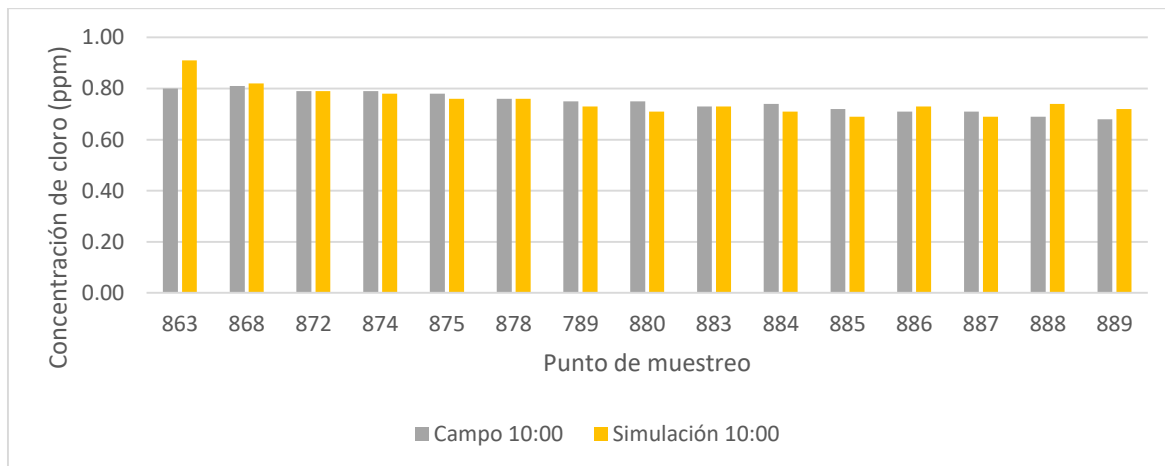
Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi a las 6:00 am



Nota: Elaboración propia

Figura 31

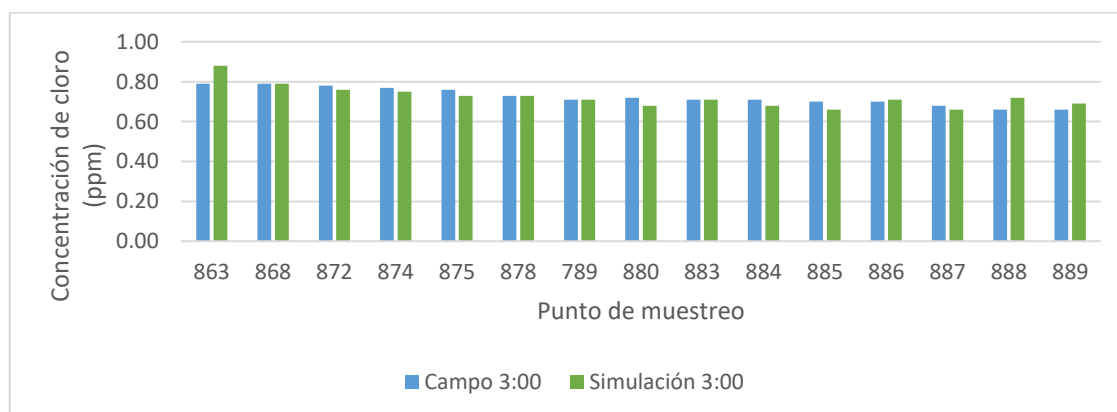
Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi a las 10:00 am



Nota: Elaboración propia

Figura 32

Comportamiento de resultados con calibración de concentración de cloro residual obtenidos en campo y de simulación para sistema Venturi a las 3:00 pm



Nota: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas presentadas anteriormente, se observa que se presenta mayor proximidad entre valores de campo y simulación en el transcurso del tiempo, es decir que el modelo se va ajustando a las condiciones brindadas por el usuario, pero se requiere estabilidad en los valores de concentración de cloro, por lo que solo se puede aplicar al sistema Venturi ya que al aplicarlo sobre el sistema Doble tanque se presentaría menor proximidad entre valores de campo y simulación.

En cuanto al comportamiento del cloro residual a lo largo del tiempo, se evidencia una mayor estabilidad del cloro en el sistema Venturi, siendo este sistema más eficiente

debido al comportamiento descrito. Esto se observa tanto en la disminución de la concentración de cloro a lo largo del tiempo posterior a los ajustes realizados como en el valor de R^2 (coeficiente de ajuste de regresión) obtenido para ambos sistemas (ver Anexo 5) que resulto ser de 73% para el sistema doble tanque y 85% para el sistema Venturi y en este punto ya se observa la diferencia significativa.

Modelación de sistema

Posterior a la obtención de resultados y a la validación del funcionamiento del sistema se pueden obtener las ecuaciones matemáticas para la modelación del mismo, tal como se muestra a continuación.

Pérdida de carga o altura piezométrica: Partiendo de la ecuación de Hazen- Williams se tiene la siguiente expresión (Engineerin Toolbox, 2004):

$$h_L = Aq^B \quad (10)$$

Se conoce de acuerdo a la simulación que el valor de C (Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams) es de 150, entonces la pérdida de carga será:

$$h_L = 114362.97 * d^{4.871} * l * q^{1.852} \quad (11)$$

Donde:

h_L : Altura piezométrica (m)

d : Diámetro de tubería (m)

l : Longitud de tubería (m)

q : Caudal (L/s)

Pérdidas menores: Respecto a las pérdidas menores por incrementos de turbulencia, no se presentan debido a que no se consideraron accesorios como codos o reducciones en las tuberías.

Tasas de concentración de Reactivos: Se determinó que el cloro sigue un primer orden de reacción, entonces:

$$\text{Re} = \frac{v^* \rho^* d}{u} \quad (12)$$

Re: Número de Reynolds

ρ : densidad de fluido (kg/m³)

v: velocidad de fluido (m/s)

d: diámetros de tubería (m)

u : viscosidad dinámica (Pa/s)

De acuerdo con la simulación, el valor de la velocidad es de 0.98 m/s y se trabajó a 17°C, por lo que el valor del número de Reynolds calculado con la expresión 12 resulta ser de 48944.14 evidenciando flujo turbulento; respecto al número de Schmit, este se determina con la expresión:

$$\text{Sc} = \frac{u}{\rho^* \wp} \quad (13)$$

Sc: número de Schmit

u: viscosidad dinámica (Pa/s)

p: densidad de fluido (kg/m³)

\wp : Difusividad del cloro (m²/s)

Con la expresión mostrada anteriormente, se determinó el número de Schmit que resultó ser de 1251.60, luego se determinó el número de Sherwood con la siguiente expresión:

$$S_h = 2 + 0.6 * \text{Re}^{1/2} * \text{Sc}^{1/3} \quad (14)$$

Sh: Número de Sherwood

$$S_h = 2 + 0.6 * (48944.14)^{1/2} * (1251.60)^{1/3} \quad (15)$$

$$S_h = 1432.50$$

Con el número de Sherwood, se procedió a determinar el coeficiente de transferencia de masa de acuerdo con la siguiente expresión:

$$k_f = \frac{S_h * \mathcal{D}}{d} \quad (16)$$

Sh: Número de Sherwood

\mathcal{D} : Difusividad del cloro (m²/s)

d: diámetros de tubería (m)

Entonces:

$$k_f = 3.03 * 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$k_f = 1.24 \text{ m / día}$$

De acuerdo con la simulación, se determinó que el cloro sigue un primer orden de reacción, por lo que la ecuación que define el comportamiento del cloro en el sistema, de acuerdo con la tabla 7, es:

$$\frac{d[C]}{dt} = -K[C] \quad (17)$$

C: Concentración del cloro en el sistema (ppm)

t: tiempo (h)

K: Coeficiente de decaimiento (día⁻¹)

Para determinar el coeficiente de decaimiento K, se hizo uso de la siguiente expresión extraída del manual WaterCad (2022):

$$K = k_b + \frac{2 * k_w * k_f}{R * (k_w + k_f)} \quad (18)$$

kb: Coeficiente de reacción masico (día⁻¹)

k_w: Coeficiente de reacción de pared de tuberías(m/día⁻¹)

R: Radio de tubería (m)

k_f: Coeficiente de transferencia de masa (día⁻¹)

De acuerdo con la simulación, para el sistema Venturi se determinó que el valor de kb es de 0.17 día⁻¹ y el valor de kw, que se determinó a través del ajuste del sistema fue de 0.048 m/día, el valor de kf se determinó que fue de 1.24 m/día y el radio de la

tubería se consideró que fue de 1 pulgada que equivale a 0.02m, por lo que el valor de K resultó ser de:

$$K=0.084 \text{ h}^{-1}$$

Entonces la ecuación de primero orden de que define el comportamiento del cloro a lo largo la red de distribución Tankarpata con sistema Venturi, desarrollada a través de la expresión 17, es:

$$C=C_0 * e^{-K*(L/v)} \quad (19)$$

K: Coeficiente de decaimiento de cloro en la red (h^{-1})

L: Longitud total de tubería (m)

C: Concentración al final de la red (ppm)

C₀: Concentración al inicio de la red (ppm)

v: velocidad (m/h)

Entonces la ecuación que describe el comportamiento del cloro a lo largo de la tubería es:

$$C=C_0 * e^{-0.084*(L/0.98*3600)}$$

Haciendo uso del modelo:

$$C=0.81 * e^{-0.084*(3113/0.98*3600)}$$

$$C=0.75 \text{ ppm}$$

La concentración al final de la red de aproxima a los valores tanto de campo como de simulación, lo que prueba que puede ser usada para las diferentes longitudes a lo largo de la tubería.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con Quito (2020) que estudió la calidad del agua usando la modelación hidráulica del sistema de distribución del C7 aplicando WaterCAD y de acuerdo a los resultados de calidad de agua se observó que la calidad de agua no cumplía con los parámetros de desinfección de la red, al no encontrar presencia de cloro residual menor a 0,01 g/ml, el principal problema fueron las presiones en el sistema, en cambio en la presente investigación se pudo observar una óptima distribución de presiones gracias a los valores de elevación del sistema en cada punto de la red de distribución; en caso de la investigación de Copa (2019) el investigador pudo determinar mediante un modelo generado en el software WaterCAD información sobre las condiciones en las que se encontraba el valor del cloro residual en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Tarija llegando a resultados elevados de concentración de cloro residual en dicha red y el comportamiento que fue afectado por las variaciones en el modelo generado debido a la realidad del operador, tal como sucedió en la presente investigación ya que se presentaron variaciones debido a las condiciones de operación que en gran parte son aproximadas, pero que a largo plazo se puede tener mayor certeza en la simulación con estudios posteriores.

Respecto a la investigación de Fernández & Cruz (2021) que enfoca su investigación en la eficiencia de un sistema doble recipiente que con la ayuda de un hipoclorador de goteo de carga constante logró incrementar su eficiencia, esto demuestra uno de los inconvenientes de dicho sistema que también se observa en la presente investigación que es la alta tendencia a la reducción en la concentración de cloro a lo largo de la red; en tanto respecto a la investigación de Inca Lujan & Ulloa Flores (2018) que realizó un modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual mediante el uso del software WaterCAD determinó la concentración de cloro residual a través de

toda la red de distribución y además de ello resaltó la importancia del uso de la herramienta para el control de la calidad del agua en las redes de distribución, aspecto que se valida en la presente investigación pues es probable determinar el comportamiento del cloro en la red de distribución en periodos extendidos; en cuanto a la investigación de Landeo (2018) que determinó la eficiencia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales cuyos valores del cloro residual en el inicio del sistema fueron de 0.71 a 1.03 mg/L, en la mitad de la red 0.67 mg/L a 1.01 mg/L y al final de 0.57 a 0.91 mg/L, en el caso de la presente investigación se observaron valores próximos al inicio de la red de distribución que en caso del sistema doble tanque fue de 0.96 mg/L y en caso del sistema Venturi fue de 0.81mg/L y bajas caídas de concentración de cloro en la red de distribución para ambos sistemas a causa de la interacción del mismo con la tubería y las demandas de agua requeridas en cada casa, además, de caudal y del estado de las tuberías a diferencia de dicha investigación; sin embargo, los valores son aceptables en ambos casos porque el cloro no alcanza a tener concentraciones menores a 0.5 mg/L que especifica la normativa de calidad de agua.

Respecto al antecedente local de Pacheco & Zúñiga (2018) realizaron la comparación de lecturas a partir de los resultados generados por el software de modelamiento, para así poder determinar cuál de las tecnologías de desinfección de agua propuestas (Clorinadores, Goteo Convencional, Goteo Adaptado y Goteo Autocompensante) era mejor, los resultados indicaron que la tecnología óptima y eficiente fue la Tecnología de Cloración por Goteo de Doble Recipiente con Filtro de Anillos una tecnología alterna al sistema de cloración Venturi que debiera analizarse en comparación.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro en agua potable Doble tanque y Venturi, siendo este último el que presenta mayor eficiencia debido a las ventajas en la facilidad de operación y a las variaciones de concentración de cloro a través del tiempo que fueron mínimas; además presenta un coeficiente de ajuste R^2 igual a 85% que es superior al del sistema doble tanque que resultó ser de 73%.
- Se modeló matemáticamente el cloro residual en la red de distribución, para el sistema de tratamiento de desinfección Venturi mediante los datos de cloro residual recolectados en el muestreo de agua en diferentes puntos de la red de distribución y la simulación de datos, obteniendo valores favorables para dicho sistema gracias a su estabilidad en los valores de concentración de cloro; se descartó el modelamiento del sistema doble tanque debido a las variaciones que presenta en las concentraciones de cloro ya dificulta el procedimiento y reduce la confiabilidad en los datos que se pueden obtener.
- Se determinaron las condiciones de operación reales como el coeficiente de reacción de masa (k_b) igual a 0.084 h^{-1} y 0.007 h^{-1} para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi respectivamente y el orden de reacción para el cloro fue de orden 1 y el valor de coeficiente de reacción de pared (k_w) que fue de 0.048 m/día y se simuló el sistema usando el software WaterCAD.
- Se validaron las condiciones de operación observando mayor proximidad en el caso del sistema Venturi entre los datos obtenidos en campo y simulación ya que se obtuvo un valor F igual a 0.04 que fue menor al valor crítico que fue 4.19 y una probabilidad igual del 83% comprobando que no se presentan diferencias significativas entre los datos de campo y los simulados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio de determinación de coeficiente de reacción de masa en la red de distribución Tankarpata, considerando los puntos de muestreo tomados en la presente investigación.
- Se recomienda realizar un estudio de determinación de coeficiente de reacción en las paredes de las tuberías en la red de distribución de agua potable de Tankarpata.
- Se recomienda realizar un monitoreo y simular la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua de Tankarpata considerando tiempos extendidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aviagen. (25 de Septiembre de 2019). *aviagen.com*. Recuperado el 08 de Enero de 2022, de http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_Tech_Docs/AVIA-BestPractice-WaterChlorination-2019-ES.pdf
- Bentley Institute. (24 de Abril de 2012). *WaterCAD/GEMS V8i*. Obtenido de https://www.academia.edu/35222715/WaterCAD_GEMS_V8i_Curso_de_Modelaci%C3%B3n_y_Dise%C3%B1o_de_Sistemas_de_Distribuci%C3%B3n_Intermedio_sistema_m%C3%A9trico
- Brown, T. (2004). Chemistry. *The central science*. Obtenido de <https://academia.utp.edu.co/quimica2/files/2018/09/quimica-la-ciencia-central-brown.pdf>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid mechanics*. Mc Graw Hill.
- Cooperación Alemana. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ambito rural*. Lima: GIZ. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf
- Copa, I. (2019). Modelación de la dosificación de cloro residual en la red de distribución de agua potable del barrio central ciudad de Tarija. Obtenido de <http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ciencia-sur/article/view/732>
- COSUDE. (21 de Marzo de 2018). Hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente. *Manual de instalación, operación y mantenimiento*. Lima, Perú. Obtenido de https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/manual2_hipoclorador_de_goteo_doble_recipiente-min.pdf
- DIGESA. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para consumo Humano DS N°031-2010-SA. *Ministerio de Salud*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- DIGESA. (24 de Septiembre de 2015). R.D. N° 160-2015/DIGESA. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd_160_2015_digesa.pdf
- Echegaray, L. A. (2009). *Manual de tratamiento de aguas*.
- Engineerin Toolbox. (10 de Enero de 2023). *Fluid Flow Friction Loss - Hazen-Williams Coefficients*. Obtenido de https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-coefficients-d_798.html
- Fernandez, E., & Cruz, I. E. (Julio de 2021). *Eficiencia del Hipoclorador de doble recipiente en el mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano en la localidad de Alan Garcia, Alonso de Alvarado, 2021*. Tarapoto: Universidad Peruana Unión. Recuperado

- el 11 de Enero de 2022, de
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4762/Edinson_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Galdón Trillo, F. (2021). *Montaje y manenimiento de instalaciones caloríficas* (1 ed.). España, Madrid: Paraninfo. Recuperado el 09 de Enero de 2022, de
<https://www.paraninfo.es/catalogo/9788413660844/montaje-y-mantenimiento-de-instalaciones-calorificas>
- García, A. (2006). *Introducción a la simulación de sistemas discretos*. Obtenido de
https://www.academia.edu/31739369/Simulaci%C3%B3n_de_sistemas_discretos
- García, F. (2019). *Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador*. Lima: Universidad Agraria la Molina. Obtenido de
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3845>
- Google Maps. (2022). Georreferencia sector Tankarpata .
- Huaquisto, S. (2019). Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de Salcedo, Puno. *I&D*, 133-144. Obtenido de
http://www.scielo.org.bo/pdf/riyd/v19n1/v19n1_a10.pdf
- Inca, H., & Ulloa, S. (2018). *Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo- Santiago de Chuco*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIT_040356198b4f558cae0397b2d7a6bca4
- Insumos Químicos Perú. (2022). *Hipoclorito de calcio al 70% granulado*. Obtenido de
https://insumosquimicosperu.pe/producto/hipoclorito-de-calcio-70-granulado/?gclid=CjwKCAiA68ebBhB-EiwALVC-NjD1yqwGA2i339ViRyzO0YDjYic1GW0hn4II9mrJEbjJWohOiP6iDBoCycIQA_vD_BwE
- Landeo, A. F. (2018). *Relación de métodos de goteo y eficiencia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNH_3e8373dacc0fd9d5ac75d0d3ea551a70/Details
- Lerma Gonzales, H. D. (2016). *Metodología de la Investigación, 5*. Bogota, Colombia. Recuperado el 11 de Enero de 2022
- LOVIBOND. (12 de abril de 2022). *Método DPD*. Obtenido de
https://www.lovibond.com/ix_pim_assets/Wasseranalytik/BookOfMethods_Publication/Einzelmethode/M110/Instrucciones_M%C3%A9todo_%C3%BAnico_-_M110_-_Cloro_PP_-_es.pdf

- Masciarelli, C., & Gomez, N. (2010). Modelamiento y simulación de sistemas complejos .
- MINSA. (26 de Septiembre de 2010). Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- MINSA. (2010). *Reglamento de calidad de agua para consumo humano*.
- Muñoz Mendoza, R. (2019). *Eficiencia del sistema de cloración por goteo para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano del caserío Cauchamayo - Celendín*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3564>
- MVCS. (2015). *Programa de Nacional de Saneamiento Rural -PSNR*. Lima: Gob.pe. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per111251.pdf>
- MVCS. (2018). *Resolución Ministerial N.º 192-2018-VIVIENDA*. Lima: Gob.pe. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/275920-192-2018-vivienda>
- Organizacion Mundial de la Salud. (13 de Septiembre de 2023). *Who.int*. Recuperado el 10 de Enero de 2022, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,zonas%20con%20escasez%20de%20agua>.
- Pacheco, D. M., & Zuñiga, S. R. (2018). *Análisis de la eficiencia de las tecnologías de cloración de agua por goteo convencional, goteo adaptado, clorinador y goteo autocompensante aplicadas en la comunidad de Pillao Matao*. Cusco. Cusco: Universidad Andina del Cusco. Recuperado el 11 de Enero de 2022, de <https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/1601/RESUMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Perez, R., & Ramos, G. (2018). Dosis de cloro y cloro residual libre en el sistema de agua potable del sector de Puyhúan Grande del Distrito y Provincia de Huancavelica.
- PROAGUA Ingenieros S.A.C. (2023). *Equipo de cloración por inyección Venturi*. Obtenido de <https://proaguaingenieros.com/productos/equipos-y-tecnologias-de-sistemas-de-cloracion/equipo-de-cloracion-por-inyeccion-venturi/>
- PROAGUA Ingenieros S.A.C. (2023). *proaguaingenieros.com*. Obtenido de <https://proaguaingenieros.com/productos/equipos-y-tecnologias-de-sistemas-de-cloracion/equipo-de-cloracion-por-goteo-de-carga-constante/>
- Quito, A. E. (2020). Estudio de la calidad del agua y modelación hidráulico del sistema de distribución del C7 aplicando WaterCAD de la ciudad de Jipijapa.
- Render, B., & Stair, M. R. (2012). *Metodos cuantitativos para los negocios* (9 ed.). México, Mexico: Pearson. Recuperado el 06 de Enero de 2022, de <https://ucreanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Me%CC%81todos-Render.pdf>

- Rodríguez Jerez, J. (1 de Octubre de 2001). *La lejía ¿el desinfectante ideal?* Recuperado el 06 de Enero de 2022, de <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/la-lejia-el-desinfectante-ideal.html>
- Rodriguez, Y. (2018). Modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Rioja para determinar la calidad microbiológica, 2017.
- SABA Plus. (2018). *Compendio de innovaciones tecnológicas en agua y saneamiento rural*. Lima: Sinco Industria Gráfica EIRL. Obtenido de https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/2compendio_innovc_tecn_ays_rural-ilovepdf-compressed.pdf
- SENCICO. (2018). *Informe de avance, reevaluación del sistema de cloración por goteo adaptado*. Cajamarca. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/869119-actividades-de-investigacion-realizadas-en-2018>
- Serrano, J. (03 de Febrero de 2020). *Metologia de la Invesigación*. Lima: Bernardo Reyes. Recuperado el 06 de Enero de 2022, de https://books.google.com.pe/books/about/Metodologia_de_la_Investigacion_edicion.html?id=XnnkDwAAQBAJ&redir_esc=y
- WaterCad. (2022). Simulación de cloro residual Tankarpata .

ANEXOS
ANEXO 01: Matriz de consistencia

Evaluación de eficiencias de los sistemas de dosificación de cloro en agua potable Doble tanque y Venturi mediante modelado y simulación de cloro residual en la red de distribución JASS Tankarpata – Cusco - 2022				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología Población y muestra
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro en agua potable Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro en agua potable Doble tanque y Venturi para el tratamiento de agua para consumo humano</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>La eficiencia de los sistemas de dosificación de cloro doble tanque y Venturi es alta debido a que presenta aproximación a los valores establecidos de cloro residual libre en Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (no menor de 0.5 mg/L de cloro residual libre).</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Eficiencia de desinfección de sistema</p> <p>Indicadores</p> <p>Cloro residual después de tiempo de contacto (mg/L) in situ y en puntos a lo largo de la red de distribución</p> <p>Variable Independiente</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo: Aplicada</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Nivel: Descriptivo – Explicativo</p> <p>Población: Agua de consumo humano de la red de distribución JASS TANKARPATA</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuál es el comportamiento del cloro residual en la red de distribución para los sistemas de dosificación de cloro en Doble tanque y Venturi?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Modelar matemáticamente el cloro residual en la red de distribución, para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>El modelado del cloro residual permite evaluar el comportamiento de la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución para los sistemas de dosificación de</p>	<p>Concentración de cloro</p> <p>Flujo de cloro</p> <p>Indicador:</p> <p>Dosis de aplicación de cloro (gotas/min)</p> <p>Tiempo de aplicación</p> <p>Turbiedad de agua</p> <p>pH</p>	<p>Muestra: Muestras de agua tomadas en puntos estratégicos de la red de distribución JASS TANKARPATA</p> <p>Técnicas: Recolección de datos de pruebas experimentales</p>

<p>¿Cuáles son las condiciones de operación reales para los sistemas de dosificación de cloro en Doble recipiente y Venturi?</p> <p>¿Son correctas las condiciones de operación simuladas para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble recipiente y Venturi?</p>	<p>Simular las condiciones de operación reales para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble recipiente y Venturi.</p> <p>Validar las condiciones de operación para los sistemas de tratamiento de desinfección de Doble tanque y Venturi</p>	<p>cloro doble tanque y Venturi.</p> <p>La simulación ayuda a determinar las condiciones de operación reales para los sistemas de dosificación de cloro doble tanque y Venturi, siendo estas condiciones cercanas a las simuladas de acuerdo al modelo matemático establecido para el cloro residual.</p> <p>Las condiciones de operación se validan, mediante la comparación de valores de cloro residual obtenidos en condiciones reales y las condiciones simuladas, siendo estas correctas y muy próximas a la realidad.</p>	<p>Cloro libre Demanda de cloro</p>	<p>Análisis matemático de resultados de cloro residual en muestras Modelado en software de simulación y modelado de cloro residual en puntos clave de la red de distribución JASS TANKARPATA</p> <p>Instrumentos: Ficha de recolección de datos Software de modelado Gráficos estadísticos</p>
---	---	--	---	--

ANEXO 02: Datos recolectados y procesados

FECHA: Setiembre 2022

DISEÑO VENTURI

Q de Hipoclorito de Calcio al 70% (ml/min)	51
---	-----------

Solución Madre de Cloro

Volumen de Recipiente (Litros)	110 0
Hipoclorito de Calcio al 70 % (Kg).	1,24 4
Tiempo de Duración (Días)	15
Tiempo de Servicio Horas	24

TOMA DE MUESTRA Cloro Residual	PPM
1	0
2	0
3	0,81
4	0,80
4	0,79
4	0,80
4	0,79
4	0,80
4	0,80
4	0,78
4	0,77
4	0,78
4	0,77
4	0,77
4	0,76
4	0,76
4	0,75

DISEÑO DOBLE RECIPIENTE

Q de Hipoclorito de Calcio al 70% (ml/min)	245
---	------------

Solución Madre de Cloro

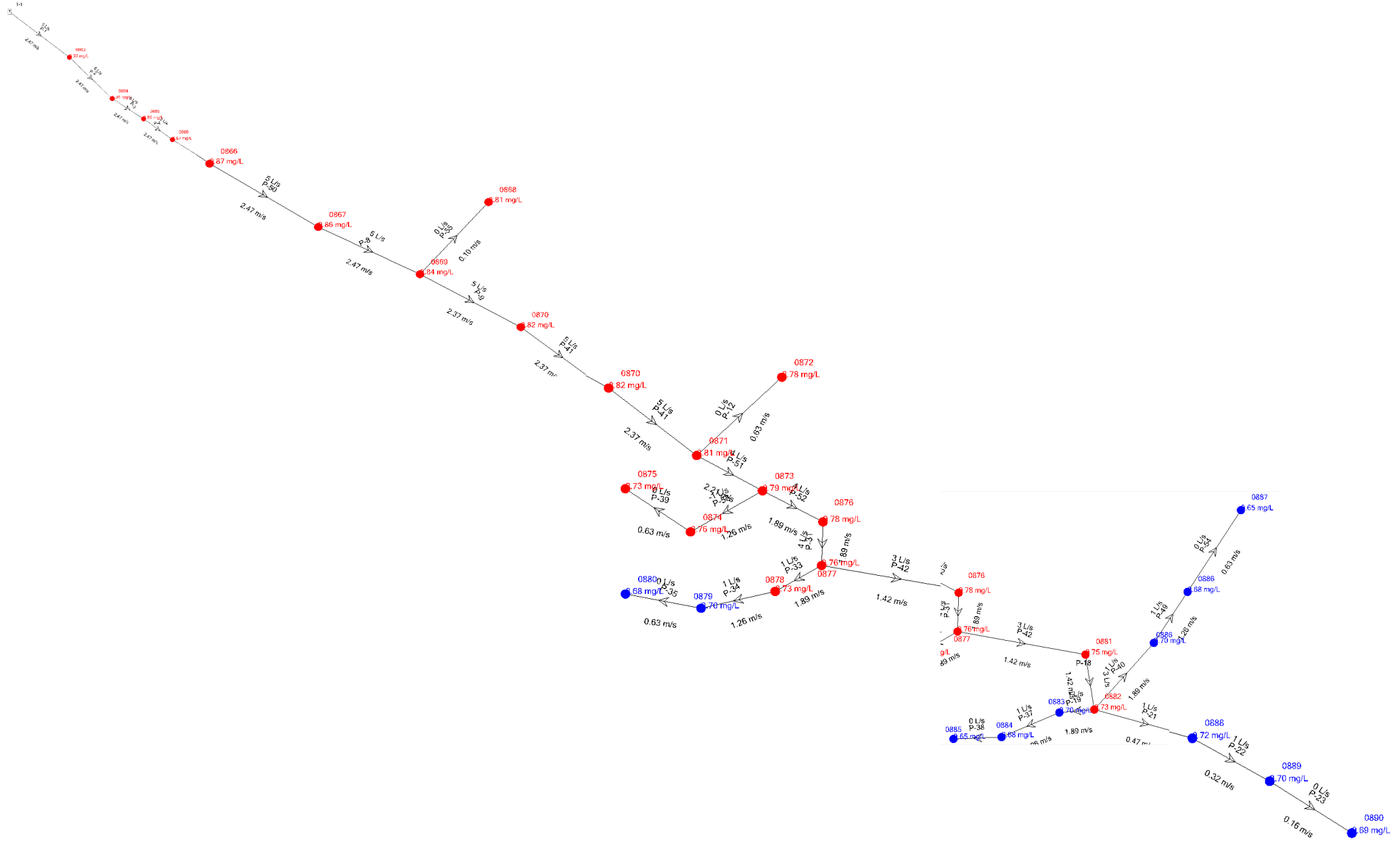
Volumen de Recipiente (Litros)	110 0
Hipoclorito de Calcio al 70 % (Kg).	1,55 5
Tiempo de Duración (Días)	15
Tiempo de Servicio Horas	5

TOMA DE MUESTRA Cloro Residual	PPM
1	0
2	0
3	0,96
4	0,92
4	0,84
4	0,88
4	0,86
4	0,84
4	0,70
4	0,85
4	0,86
4	0,78
4	0,76
4	0,77
4	0,72
4	0,64
4	0,62

CENTRO POBLADO	TANKARPATA
CODIGO MVCS	0801050031
NOMBRE SISTEMA DE AGUA	CHECCOLLO
CODIGO MVCS	S080105003101
ADMINISTRADOR	JASS TANKARPATA
N° de Familias	94
N° de Habitantes	387

SISTEMA DE AGUA	SGST - Sistema por Gravedad sin Tratamiento
Captación Tipo	Subterránea / Manantial de Ladera
RESERVORIO	CONCRETO ARMADO CUADRANGULAR
VOLUMEN UTIL (m3)	52,45
Largo (m)	4,86
Ancho (m)	4,80
Altura (m)	2,65
Q Agua a tratar (Lt/seg)	0,84

ANEXO 03: Esquematzación puntos de muestreo



ANEXO 04: Análisis ANOVA

REPORTE ESTADÍSTICO

Nombre de tratamiento	:	Prueba de ANOVA de un factor
Nombre de solicitante	:	Luis Alberto Jara Quispe
Fecha de recepción	:	19/09/2023
Fecha de tratamiento	:	19/09/2023
Software usado	:	Microsoft Excel 365
Formulas usadas	:	

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{T^2}{nk}$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T^2}{nk}$$

$$SSE = SST - SSA$$

Donde:

n: Tamaño de muestra

k: total de tratamientos

T: Total de todas las muestras

SST: Variación total o suma total de cuadrados

SSA: Variación entre muestras o suma de cuadrados de tratamientos

SSE: Variación dentro de la muestra o suma de cuadrados de errores

a) Sistema Doble Tanque sin calibración

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Campo	15	12	0.8	0.009757143
Simulado	15	10.76	0.71733333	0.002220952

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.05125333	1	0.05125333	8.557843683	0.006750518	4.195971819
Dentro de los grupos	0.16769333	28	0.00598905			
Total	0.21894667	29				

b) Sistema Venturi sin calibración

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Campo	15	12	0.8	0.009757143
Simulado	15	10.76	0.71733333	0.002220952

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.05125333	1	0.05125333	8.557843683	0.006750518	4.195971819
Dentro de los grupos	0.16769333	28	0.00598905			
Total	0.21894667	29				

REPORTE ESTADÍSTICO

Nombre de tratamiento	: Prueba de ANOVA de un factor
Nombre de solicitante	: Luis Alberto Jara Quispe
Fecha de recepción	: 19/09/2023
Fecha de tratamiento	: 19/09/2023
Software usado	: Microsoft Excel 365

Formulas usadas :

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{T^2}{nk}$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T^2}{nk}$$

$$SSE = SST - SSA$$

Donde:

n: Tamaño de muestra

k: total de tratamientos

T: Total de todas las muestras

SST: Variación total o suma total de cuadrados

SSA: Variación entre muestras o suma de cuadrados de tratamientos

SSE: Variación dentro de la muestra o suma de cuadrados de errores

a) Sistema Doble Tanque con calibración

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Campo	15	12	0.8	0.009757143
Simulado	15	10.78	0.718666667	0.006398095

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.049613333	1	0.049613333	6.142073926	0.019495646	4.195971819
Dentro de los grupos	0.226173333	28	0.008077619			
Total	0.275786667	29				

b) Sistema Venturi con calibración

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Campo	15	11.58	0.772	0.001188571
Simulado	15	11.52	0.768	0.004417143

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.00012	1	0.00012	0.042813456	0.837574313	4.195971819
Dentro de los grupos	0.07848	28	0.002802857			
Total	0.0786	29				

ANEXO 05: Análisis REGRESIÓN

REPORTE ESTADÍSTICO

Nombre de tratamiento	:	Prueba de Regresión Lineal Simple
Nombre de solicitante	:	Luis Alberto Jara Quispe
Fecha de recepción	:	19/09/2023
Fecha de tratamiento	:	19/09/2023
Software usado	:	Microsoft Excel 365
Formulas usadas	:	

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

$$\varepsilon = Y - (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$$

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Donde:

Y: Variable dependiente

X, X₁, X₂, ..., X_n: Variables independientes

β₀, β₁, β₂, ..., β_n: Coeficientes de regresión

ε: error

R²: Coeficiente de ajuste

SS_{res}: Suma de cuadrados de residuos

SS_{tot}: Suma total de cuadrados

n: Número de observaciones

\bar{y} : Media de datos observados

a) Sistema Doble Tanque sin calibración

Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0.728661465
Coeficiente de determinación R ²	0.530947531
R ² ajustado	0.494866572
Error típico	0.033494437
Observaciones	15

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	1	0.01650893	0.01650893	14.7154495
Residuos	13	13	0.0145844	0.00112188	
Total	14	14	0.03109333		

b) Sistema Venturi sin calibración

Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0.725605921
Coeficiente de determinación R ²	0.526503952
R ² ajustado	0.490081179
Error típico	0.034423164
Observaciones	15

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.01712893	0.01712893	14.4553506	0.00219888
Residuos	13	0.0154044	0.00118495		
Total	14	0.03253333			

REPORTE ESTADÍSTICO

Nombre de tratamiento	:	Prueba de Regresión Lineal Simple
Nombre de solicitante	:	Luis Alberto Jara Quispe
Fecha de recepción	:	19/09/2023
Fecha de tratamiento	:	19/09/2023
Software usado	:	Microsoft Excel 365

Formulas usadas :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

$$\varepsilon = Y - (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$$

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Donde:

Y: Variable dependiente

X, X₁, X₂, ..., X_n: Variables independientes

β₀, β₁, β₂, ..., β_n: Coeficientes de regresión

ε: error

R²: Coeficiente de ajuste

SS_{res}: Suma de cuadrados de residuos

SS_{tot}: Suma total de cuadrados

n: Número de observaciones

ȳ: Media de datos observados

a) Sistema Doble Tanque con calibración

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.866683292
Coeficiente de determinación R ²	0.751139929
R ² ajustado	0.731996846
Error típico	0.051136533
Observaciones	15

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.102605714	0.102605714	39.23819129	2.906E-05
Residuos	13	0.033994286	0.002614945		
Total	14	0.1366			

b) Sistema Venturi con calibración

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.929967688
Coeficiente de determinación R ²	0.864839901
R ² ajustado	0.854442971
Error típico	0.006945629
Observaciones	15

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.004012857	0.004012857	83.18223235	5.17899E-07
Residuos	13	0.000627143	4.82418E-05		
Total	14	0.00464			

ANEXO 06: Actas de monitoreo de cloro residual y parámetros de campo

Municipalidad Distrital de San Sebastián
SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

ACTA DE MONITOREO DE CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO MEDIANTE VISITAS DOMICILIARIAS

Siendo hoy Martes 10 de Mayo del año 2022, se procedió a realizar el monitoreo de agua para consumo humano en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable JASS de Tancarpata, obteniendo resultados de la medición de cloro residual y parámetros físico-químico:

1. **MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO EN RESERVOIRIO**
GEOREFERENCIA UTM 19.L Este 180760 Norte 8749703 Altitud 3407m Hora 4:50

A	Monitoreo de cloro residual	Hora de muestreo	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
			-	1.5	

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
			15.5	7.56	0.49	734

2. **MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - PRIMERAS VIVIENDAS**
GEOREFERENCIA UTM 19.L Este 180513 Norte 8749516 Altitud 3387m Hora 10:38

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
	<u>Virginia Rodríguez Cruz</u>	<u>24007086</u>	-	1.4	

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
			13.3	7.57	0.18	758

3. **MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - VIVIENDAS INTERMEDIAS**
GEOREFERENCIA UTM 19.L Este 180912 Norte 8700517 Altitud 3367m Hora 11:07

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
	<u>Carmen Rosa Apaza Huaman</u>	<u>44062437</u>	-	1.4	

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
			15.5	7.53	0.18	748

4. **MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - ÚLTIMAS VIVIENDAS**
GEOREFERENCIA UTM 19.L Este 181066 Norte 8500886 Altitud 3377m Hora 12:16

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
	<u>Leocadia Niño de Berrazo</u>	<u>23899434</u>	-	1.2	

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
			13.1	7.54	0.08	754

Observaciones y sugerencias del estado del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.
.....
.....

Finalizándose el monitoreo el mismo día, firman la presente acta en señal de conformidad.

JASS
Carmen Rosa Apaza Huaman
44062437
Operadora JASS

CENTRO DE SALUD

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIÁN
GERENCIA DE REGIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL
Ing. Paulo César Quispe Cncque
SUB GERENTE
SGATM

PPM: Partes Por Millón
JASS: Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
SAP: Sistema de Abastecimiento de Agua
DNI: Documento Nacional de Identidad.



Municipalidad Distrital de San Sebastián

SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"



ACTA DE MONITOREO DE CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO MEDIANTE VISITAS DOMICILIARIAS

Siendo hoy Martes 16 de Marzo del año 2022, se procedió a realizar el monitoreo de agua para consumo humano en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable JASS de Tancarapata, obteniendo resultados de la medición de cloro residual y parámetros físico-químico:

1. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO EN RESERVORIO
Altitud: 3412 m Hora: 9:47 a.m.
GEOREFERENCIA UTM 19 L Este: 180750 Norte: 844407

A	Monitoreo de cloro residual	Hora de muestreo	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
				<u>0.8</u>	<i>[Firma]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
		<u>17</u>	<u>7.85</u>	<u>0.27</u>	<u>124.2</u>	<u>2.11</u>

2. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - PRIMERAS VIVIENDAS
Altitud: 3402 m Hora:
GEOREFERENCIA UTM 19 L Este: 180572 Norte: 8444216

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
	<u>Virginia Rodríguez Cruz</u>	<u>24007086</u>		<u>0.5</u>	<i>[Firma]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
		<u>16.7</u>	<u>7.96</u>	<u>0.10</u>	<u>122</u>	<u>2.14</u>

3. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - VIVIENDAS INTERMEDIAS
Altitud: 3369 m Hora:
GEOREFERENCIA UTM 19 L Este: 180773 Norte: 8500572

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
	<u>Lizbeth Aller Chipa</u>	<u>46822527</u>		<u>0.5</u>	<i>[Firma]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
		<u>17.4</u>	<u>7.9</u>	<u>0.11</u>	<u>121.5</u>	<u>2.10</u>

4. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - ÚLTIMAS VIVIENDAS
Altitud: 3244 m Hora:
GEOREFERENCIA UTM 19 L Este: 181063 Norte: 8500886

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
	<u>Leocadia Nina de Berasco</u>	<u>23899434</u>		<u>0.5</u>	<i>[Firma]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Dureza mg/l
		<u>18.7</u>	<u>7.86</u>	<u>0.56</u>	<u>121.1</u>	<u>2.16</u>

Observaciones y sugerencias del estado del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.

Finalizándose el monitoreo el mismo día, firman la presente acta en señal de conformidad.

[Firma]
Americo Quiroga Tecsi
PRESIDENTE
JASS

[Firma]
Ing. Víctor Hugo Soto
DNI: 23988291
CENTRO DE SALUD

[Firma]
Ing. Pablo César Quiroga Choque
SUB GERENTE
SGATM

PPM: Partes Por Millón
JASS: Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
SAP: Sistema de Abastecimiento de Agua
DNI: Documento Nacional de Identidad.



MEIZU M6 Note
DUAL CAMERA

2022-09-13 17:27

Municipalidad Distrital de San Sebastián

SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"



ACTA DE MONITOREO DE CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO MEDIANTE VISITAS DOMICILIARIAS

Siendo hoy... Marzo ... día de Junio ... del año 2022, se procedió a realizar el monitoreo de agua para consumo humano en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable JASS de Tancarpata, obteniendo resultados de la medición de cloro residual y parámetros físico-químico:

- 1. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO EN RESERVOIRIO**
 GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180456 Norte 8499406 Altitud 3420 Hora 10:18

A	Monitoreo de cloro residual	Hora de muestreo	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
			-	1.0	<i>[Firma]</i>

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
			16.0	7.74	0.52	729
- 2. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - PRIMERA VIVIENDA**
 GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180523 Norte 8499837 Altitud 3400 Hora 10:47

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
	<u>Marja Cespedes Ccallata</u>	<u>08152253</u>	-	0.8	<i>[Firma]</i>

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
			16.1	7.64	0.13	723
- 3. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - VIVIENDAS INTERMEDIAS**
 GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180993 Norte 8500526 Altitud 3370 Hora 11:21

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
	<u>Victor Hugo Cabrera Quispe</u>	<u>60989522</u>	-	0.8	<i>[Firma]</i>

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
			15.6	7.57	0.13	730
- 4. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - ÚLTIMA VIVIENDA**
 GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180906 Norte 8500967 Altitud 3391 Hora 11:48

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/propietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma
			<0.5ppm	>=0.5ppm	
	<u>Patricia Tesci Gutierrez</u>	<u>44229999</u>	-	0.8	<i>[Firma]</i>

B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
			14.2	7.72	0.74	724

Observaciones y sugerencias del estado del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable:

Finalizándose el monitoreo el mismo día, firman la presente acta en señal de conformidad.

[Firma]
 JASS
 Carmon Rosa Apoya Huaman
 DNI: 44862483
 Operadora

[Firma]
 JASS TANCARPATA
 CENTRO DE SALUD

[Firma]
 Ing. Paulo Cesar Quispe Choque
 SUB GERENTE
 SGATM

[Firma]
 JASS TANCARPATA
 Americo Quispe Tesci
 PRESIDENTE

[Firma]
 Estefani Cahuana Huaman
 Promotor Técnico Social-ATM
 DNI: 77082462

PPM: Partes Por Millón
 JASS: Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
 SAP: Sistema de Abastecimiento de Agua
 DNI: Documento Nacional de Identidad.



Municipalidad Distrital de San Sebastián

SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"



ACTA DE MONITOREO DE CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO MEDIANTE VISITAS DOMICILIARIAS

Siendo hoy viernes, 18 de Julio del año 2022, se procedió a realizar el monitoreo de agua para consumo humano en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable JASS de Tankasapata, obteniendo resultados de la medición de cloro residual y parámetros físico-químico:

1. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO EN RESERVOIRIO

GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180449 Norte 8443394 Altitud 3408 Hora: 9:48

A	Monitoreo de cloro residual	Hora de muestreo	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
			-	1.2	<i>[Signature]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
		16.9	8.12	0.58	124.4	

2. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - PRIMERAS VIVIENDAS

GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180569 Norte 8449806 Altitud 3398 Hora: 10:26

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/proprietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
	<u>MARIA Guispe Ticona Durand</u>	<u>83958982</u>	-	0.6	<i>[Signature]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
		16.3	8.00	0.21	127.7	

3. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - VIVIENDAS INTERMEDIAS

GEOREFERENCIA UTM 19L Este 180582 Norte 8450736 Altitud 3397 Hora: 11:17

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/proprietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
	<u>Milagros Condorcas Rayon</u>	<u>47493438</u>	-	0.6	<i>[Signature]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
		16.3	7.95	0.13	123.2	

4. MEDICIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y PARAMETROS DE CAMPO - ÚLTIMAS VIVIENDAS

GEOREFERENCIA UTM 19L Este 181044 Norte 8505872 Altitud 3340 Hora: 12:00:24

A	Monitoreo de cloro residual/ Toma de muestra/proprietario	DNI	Cloro Residual (ppm)		Firma	
			<0.5ppm	>=0.5ppm		
	<u>Teodora Nina de Borrero</u>	<u>23809434</u>	-	0.6	<i>[Signature]</i>	
B	Parámetros de campo	Temperatura °C	pH	Turbiedad NTU	Conductividad µs/cm	Color
		18.2	7.87	0.20	124.3	

Observaciones y sugerencias del estado del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.

Finalizándose el monitoreo el mismo día, firman la presente acta en señal de conformidad.

[Signature]
JASS

Carmen Rosa Apaza Huaman
DNI: 44862437
Operador de JASS

[Signature]
CENTRO DE SALUD

Ing. Carlos Soto
DNI: 23985298

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIÁN
GERENCIA DE GESTION DEL MEDIO AMBIENTE
SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL

[Signature]
Ing. Paulo Cesar Quispe Choque
SUB GERENTE
SGATM

PPM: Partes Por Millón
JASS: Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
SAP: Sistema de Abastecimiento de Agua
DNI: Documento Nacional de Identidad.

INFORMACIÓN DE LAS CAPTACIONES Y RESERVIOS DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO

Provincia:	CUSCO	Distrito:	SAN SEBASTIAN	Comunidad / Centro Poblado:	TANCARPATA
------------	-------	-----------	---------------	-----------------------------	------------


Nombre de la JASS:	TANCARPATA	N° Sistemas de saneamiento:	de 1	Información del sistema de saneamiento N°	de 1 de 1
--------------------	------------	-----------------------------	------	---	-----------

N°	N° O NOMBRE DE LA CAPTACIÓN	COORDENADAS UTM 19L		CAUDAL LT./SEG.	ALTITUD	FECHA DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN
		ESTE	NORTE			
1	CHECCOLLO GRANDE UÑUCÑAHUI	179909	8498551	0.84	3492	09-07-2021

Información que será levantada y verificada en campo con ayuda de un GPS y aforadores.

N°	N° O NOMBRE DEL RESERVORIO	COORDENADAS UTM 19 L		ALTITUD	FECHA DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN
		ESTE	NORTE		
1	ERAPATA	180453	8499395	3429	09-07-2021

Información que será levantada y verificada en campo con ayuda de un GPS.

JASS TANCARPATA

Alberico Quiroga Tecsi
 PRESIDENTE
 Presidente de la JASS

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIAN
 GERENCIA DE GESTION DEL MEDIO AMBIENTE
 SUB GERENCIA DE AREA TECNICA MUNICIPAL ATM

Ing. Paulo Cesar Quispe Choque
 SUB GERENTE
 SUB GERENTE ATM

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIAN

Mario Teófilo Yajza Moriano
 ALCALDE
 ALCALDE



SISTEMATIZACIÓN DEL MAPA PARLANTE DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO CCPP TANCARPATA

Provincia:	Cusco	Distrito:	San Sebastián	Centro Poblado:	Tancarpata	Fecha:	10 / 07 / 2021
------------	-------	-----------	---------------	-----------------	------------	--------	----------------

Nombre de la JASS:	Tancarpata	N° Sistemas de saneamiento:	de 1	Mapa parlante del sistema de saneamiento N° 01	1 de 1
--------------------	------------	-----------------------------	------	--	--------

SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECABADA CON EL MAPA PARLANTE				
N°	VARIABLE	INDICADOR	DATO	OBSERVACIONES
1	Vivienda	N° Total de viviendas	110	
		N° Viviendas ocupadas permanentemente	96	
		N° Viviendas ocupadas eventualmente	8	
		N° Viviendas desocupadas	6	
	Cobertura de servicio de agua	N° Viviendas ocupadas permanentemente con conexión domiciliaria de agua	87	
		N° Viviendas ocupadas eventualmente con conexión domiciliaria de agua	2	
		N° Viviendas ocupadas desocupadas con conexión domiciliaria de agua	1	
	Cobertura de servicio y tipo de eliminación de excretas en las viviendas	N° Viviendas ocupadas permanentemente con acceso a servicio de alcantarillado	47	
		N° Viviendas ocupadas eventuales con acceso a servicio de alcantarillado	1	
		N° Viviendas desocupadas con acceso a servicio de alcantarillado	0	
		N° Viviendas ocupadas permanentemente con acceso de servicio de UBS tanque séptico	0	
		N° Viviendas ocupadas permanentemente con Hoyo Seco Ventilado	48	
		N° Viviendas ocupadas eventualmente con Hoyo Seco Ventilado	6	
	5	Equipamiento institucional de agua y saneamiento	N° Equipamiento institucional salón comunal	1
Cobertura de servicio y tipo de eliminación de excretas en equipamiento institucional de agua y saneamiento		N° Equipamiento institucional salón comunal con conexión de agua	1	
6	Recursos hídricos	N° de fuentes de agua captadas para el sistema de agua	1	
		N° fuentes de agua con disminución de caudal de agua	1	
7	Sistemas de agua	N° Total de captaciones de agua	1	
		N° Captaciones de agua con cerco de protección	1	

JASS TANCARPATA

 Americo Quilroga Tecsi
 PRESIDENTE

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIÁN
 COMISIÓN DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
 SUB GERENCIA DE AGUA, TECNOLOGÍA Y SANEAMIENTO

 Ing. Paulo Cesar Quispe Choque
 SUB GERENTE

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIÁN

 Mario Teófilo Loiza Monano
 ALCALDE

		N° Captaciones de agua en buen estado de conservación	1			
		N° Total de reservorios de agua	1			
		N° Reservorios de agua sin nivel estático	1			
		N° Reservorio de agua en regular estado de conservación	1			
		N° Reservorios con sistema de cloración	1			
		N° Reservorios con sistema de cloración Venturi	1			
		N° Reservorios con sistema de cloración Venturi en buen estado	1			
8	Población	N° Población Total	452			
		N° Población de varones	220			
		N° Población de mujeres	232			
		N° Población vulnerable menor de 3 años de edad	14			
		N° Población vulnerable menor de 3 años de edad con acceso a servicios de agua	11			
		N° Población vulnerable menor de 3 años de edad con acceso alcantarillado	7			
		N° Población vulnerable menor de 3 años de edad con Hoyo Seco Ventilado	7			
		N° Mujeres gestantes en total	2			
		N° Mujeres gestantes con acceso a servicios de agua	2			
		N° Mujeres gestantes con acceso a servicio de alcantarillado	2			
		9	Cobertura vegetal	Presencia de plantas nativas en la cabecera de sistemas de agua (Si) (No) Si fuera si, detallar tipo de plantas nativas	SI	Ichu, queuña, chachacomo, molle especies herbáceas nativas, Eucalipto
				Presencia de plantas exóticas instaladas en la cabecera de sistemas de agua (Si) (No) Si fuera si, detallar tipo de plantas exóticas		
				Prácticas de deforestación (Si) (No)	SI	
Ocurrencia de incendios forestales en los últimos años (Si) (No)	NO					
Construcción de zanjas de infiltración en la cabecera de sistemas de agua (Si) (No)	SI					
10	Prácticas de afianzamiento hídrico	Construcción de diques rústicos en la cabecera de sistemas de agua (Si) (No)	NO			
		Otras prácticas de afianzamiento hídrico en la cabecera de sistemas de agua (Detallar)	SI	Reforestación		
		Deslizamientos amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI			
11	Peligros de origen natural	Inundaciones amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI			
		Lluvias intensas amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI			
		Sequías amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI			
		Nevadas amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI			
		Heladas amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI			

JASÉ TANCARBATA
[Firma]
 Americo Quiroga Tesci
 PRESIDENTE

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIAN
 GERENCIA DE GESTION DEL MEDIO AMBIENTE
 SUB GERENCIA DE AREA PESQUERA MUNICIPAL ATU
[Firma]
 Ing. Paulo Cesar Quispe Choque
 SUB GERENTE

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIAN
[Firma]
 Marlo Teófilo Loaiza Moriano
 ALCALDE

		Granizadas amenazan sistema de saneamiento (Si) (No)	SI
12	Peligros de origen antrópico	Uso de agroquímicos en la cabecera de sistemas de agua (Si) (No)	SI
		Prácticas de pastoreo en la cabecera de sistemas de agua (Si) (No)	SI
		Incendios forestales amenazan sistemas de saneamiento (Si) (No)	SI

OBSERVACIONES:

JASS TANCARPATA
Américo Quiroga Tesci
 PRESIDENTE
 Presidente de la
 JASS

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIÁN
 GERENCIA DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
 SUB GERENCIA DE ASISTENCIA MUNICIPAL - ATM
Ing. Paulo Cesar Quispe Choque
 SUB GERENTE
 SUB GERENCIA DE
 ATM

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN SEBASTIÁN
Mario Teófilo Loiza Monano
 ALCALDE
 ALCALDE



ANEXO 07: Registro fotográfico

Foto 1 Sistema Doble tanque



Foto 2 Sistema Venturi



Foto 3 Instalación de Sistema Venturi



Foto 4 JASS y comunidad de Tankarpata



Foto 5 Entrada de agua a reservorio de comunidad de Tankarpata



Foto 6 Muestreo en campo



Foto 7 Toma de muestras en campo



Foto 8 Análisis de muestras en campo



Foto 9 *Determinación de parámetros en campo*

ANEXO 08: Norma ISO 7393



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO 7393-2

Primera edición

2014-01

CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE Y DE CLORO TOTAL. PARTE 2: MÉTODO COLORIMÉTRICO CON N,N-DIETIL-1,4-FENILENDIAMINA, DESTINADO AL CONTROL DE RUTINA (ISO 7393-2:1985, IDT)

WATER QUALITY.DETERMINATION OF FREE CHLORINE AND TOTAL CHLORINE. PART 2: COLORIMETRIC METHOD USING N,N-DIETHYL-1,4-PHENYLENEDIAMINE FOR ROUTINE CONTROL PURPOSES (ISO 7393-2:1985, IDT)

0 INTRODUCCIÓN

La Norma ISO 7393 consta de las siguientes partes:

Parte 1: Método por valoración con *N,N*-dietil-1,4-fenilendiamina.

Parte 2: Método colorimétrico con *N,N*-dietil-1,4-fenilendiamina, destinado al control de rutina.

Parte 3: Método iodométrico para la determinación de cloro total.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 7393 especifica un método para la determinación de cloro libre y de cloro total en agua, fácilmente aplicable a ensayos de campo. Está basado en la medida de la intensidad de color por comparación visual del color con una escala de patrones que se calibra regularmente.

Las aguas de mar y las que contengan bromuros y ioduros constituyen un grupo para el cual se requieren procedimientos especiales.^[2]

Este método es aplicable a concentraciones, expresadas en cloro (Cl₂), comprendidas entre 0,0004 y 0,07 mmol/l (de 0,03 a 5 mg/l) de cloro total. Para concentraciones más elevadas, es preciso diluir la porción de ensayo. Si la rapidez de operación y la utilización de un equipo compacto no son requerimientos primordiales, puede efectuarse una medida espectrométrica como alternativa.

En el anexo A se indica un procedimiento para la diferenciación del cloro combinado del tipo monocloraamina, del cloro combinado en forma de dicloramina y del cloro combinado en forma de tricloruro de nitrógeno.

Las interferencias se indican en los capítulos 7 y 9.

2 DEFINICIONES (véase la tabla 1)

En lo que respecta a esta parte de la Norma ISO 7393 son de aplicación las siguientes definiciones:

2.1 cloro libre: Cloro presente en forma de ácido hipocloroso, de ión hipoclorito o en forma de cloro elemental disuelto.

2.2 cloro combinado: La fracción de cloro total presente en forma de cloraminas y de cloraminas orgánicas.

2.3 cloro total: Cloro presente en forma de "cloro libre" o de "cloro combinado" o el conjunto de ambos.

2.4 cloraminas: Derivados del amoníaco por sustitución de uno, dos o tres átomos de hidrógeno por átomos de cloro (monocloramina NH_2Cl , dicloramina NHCl_2 , tricloruro de nitrógeno NCl_3) y todos los derivados clorados de compuestos orgánicos nitrogenados que se determinan según el método que se especifica en esta parte de la Norma ISO 7393.

Tabla 1
Términos y sinónimos en relación a los compuestos presentes en la solución

Término	Sinónimos		Compuestos
Cloro libre	Cloro libre	Cloro libre activo	Cloro elemental y ácido hipocloroso
		Cloro libre potencial	Hipoclorito
Cloro total	Cloro residual total		Cloro elemental, ácido hipocloroso, hipoclorito y cloraminas

USO EXCLUSIVO INALPEV CIA. LTDA.
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
2016-06-07

3 FUNDAMENTO

3.1 Determinación del cloro libre

Reacción directa con la *N,N*-dietil-1,4-fenilendiamina (DPD) y formación de un compuesto rojo, a pH comprendido entre 6,2 y 6,5. Medida de la intensidad del color por comparación visual del color con una escala de patrones permanentes o por espectrometría.

3.2 Determinación del cloro total

Reacción con DPD en presencia de un exceso de ioduro de potasio, seguida de una medida análoga a la del apartado 3.1.

4 REACTIVOS

Durante el análisis, se deben utilizar únicamente reactivos de calidad analítica reconocida y el agua especificada en el apartado 4.1.

4.1 Agua, exenta de sustancias oxidantes y de sustancias reductoras.

Agua desmineralizada o destilada cuya calidad se controla de la manera siguiente:

Se introducen sucesivamente en dos matraces Erlenmeyer de 250 ml (4.5.1), sin demanda de cloro:

- En el primero: 100 ml del agua a controlar y, aproximadamente, 1 g de ioduro de potasio (4.4); se mezcla y, transcurrido 1 minuto, se añaden 5 ml de solución tampón (4.2) y 5,0 ml del reactivo DPD (4.3);
- En el segundo: 100 ml del agua a controlar y dos gotas de solución de hipoclorito de sodio (4.7); transcurridos 2 min, se añaden 5,0 ml de solución tampón (4.2) y 5 ml del reactivo DPD (4.3).

En el primer matraz no debería observarse coloración, mientras que es esencial que se aprecie una ligera coloración rosada en el segundo matraz.

En caso de que el agua desmineralizada o destilada no tenga la calidad deseada, ésta debe clorarse. Tras un período de contacto seguido de dechloración, debe volverse a comprobar la calidad final.

En el anexo B se indica un procedimiento para la preparación de agua exenta de sustancias oxidantes y de sustancias

4.2 Solución tampón, pH 6,5.

Se disuelven en agua (4.1), por este orden: 24 g de hidrógeno fosfato de disodio anhidro (Na_2HPO_4) o 60,5 g de la forma dodecahidratada ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) y 46 g de dihidrógeno fosfato de potasio (KH_2PO_4). Se añaden 100 ml de solución de 8 g/l de la sal disódica dihidratada del ácido etilendiamintetracético ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (o 0,8 g de la forma sólida).

Si es necesario, se añaden 0,020 g de cloruro de mercurio (II) (HgCl_2), a fin de evitar el crecimiento de mohos y la interferencia que causan en el ensayo de cloro libre disponible las trazas de yoduro de los reactivos.

Se diluye a 1 000 ml y se mezcla.

NOTA – Las soluciones que contengan mercurio deberían ser eliminadas de forma correcta (por ejemplo, en la Norma ISO 5790, *Productos químicos para uso industrial - Método general para la determinación del contenido en cloruro - Método mercurimétrico*, se describe un método).

USO EXCLUSIVO INALPEV CIA. LTDA.
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
2016-06-07

- 7 -

ISO 7393-2:1985

4.3 Sulfato de *N,N*-dietil-1,4-fenilendiamina (DPD) [$\text{NH}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{-H}_2\text{SO}_4$], solución de 1,1 g/l.

Se mezclan 250 ml de agua (4.1), 2 ml de ácido sulfúrico ($\rho = 1,84$ g/ml) y 25 ml de la solución de 8 g/l de la sal disódica dihidratada de AEDT (o 0,2 g de la forma sólida). En esta mezcla se disuelven 1,1 g de DPD anhidro, o 1,5 g de la forma pentahidratada, se diluye a 1 000 ml y se mezcla.

El reactivo se conserva en un recipiente oscuro protegido del calor.

La solución se renueva cada mes o cuando se decolora.

4.4 Yoduro de potasio, cristales.

NOTA – Los reactivos 4.2, 4.3 y 4.4 pueden ser convenientemente reemplazados por reactivos combinados, comercialmente disponibles, en forma de polvo estable o de tabletas.

4.5 Ácido sulfúrico, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) \approx 1$ mol/l.

Se añaden con precaución y agitando 54 ml de ácido sulfúrico ($\rho = 1,84$ g/ml) a 800 ml de agua (4.1). Se deja enfriar a temperatura ambiente y se trasvasa a un matraz aforado de 1 000 ml. Se enrasa con agua y se mezcla bien.

4.6 Hidróxido de sodio, solución, $c(\text{NaOH}) \approx 2$ mol/l.

Se pesan 80 g de hidróxido de sodio en lentejas y se añaden a 800 ml de agua en un matraz Erlenmeyer. Se agita constantemente hasta que todas las lentejas estén disueltas. Se espera a que la solución se enfríe a temperatura ambiente y se transfiere dicha solución a un matraz aforado de 1 000 ml. Se enrasa con agua y se mezcla bien.

4.7 Hipoclorito de sodio, solución $\rho(\text{Cl}_2)$ aproximadamente 0,1 g/l.

4.8 Iodato de potasio, solución madre, $\rho(\text{KIO}_3) = 1,006 \text{ g/l}$.

En un matraz de 1000 ml, se disuelven 1,006 g de iodato de potasio en aproximadamente 250 ml de agua (4.1). Se enrasa con agua y se mezcla.

4.9 Iodato de potasio, solución patrón, $\rho(\text{KIO}_3) = 10,06 \text{ mg/l}$.

Se toman 10 ml de la solución madre (4.8), se introducen en un matraz aforado de 1 000 ml, se añade aproximadamente 1 g de ioduro de potasio (4.4) y se enrasa con agua (4.1).

Esta solución se prepara el mismo día de su utilización.

1 ml de esta solución patrón contiene 10,06 μg de KIO_3 .

10,06 μg de KIO_3 corresponden a 0,141 μmol de Cl_2 .

4.10 Arsenito de sodio, (NaAsO_2), solución de 2 g/l; o tíoacetamida (CH_3CSNH_2), solución de 2,5 g/l.

5 APARATOS

Material de uso habitual en laboratorios y

Equipo colorimétrico, que incluya uno de los elementos siguientes:

5.1 Comparador, equipado con una escala de patrones permanentes coloreados, preparados especialmente para la técnica con DPD y adecuado para concentraciones comprendidas entre 0,000 4 y 0,07 mmol/l (de 0,03 a 5 mg/l) de cloro.

5.2 Espectrómetro, con un selector para variación continua de la longitud de onda adecuado para trabajar a 510 nm y equipado con células rectangulares con una longitud de paso óptico igual o mayor de 10 mm.

5.3 Espectrómetro, con un selector para variación discontinua de la longitud de onda que posea su máximo de transmitancia lo más cerca posible a 510 nm y equipado con células rectangulares con una longitud de paso óptico igual o mayor de 10 mm.

NOTA SOBRE LA PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE VIDRIO

Para conseguir material de vidrio sin de demanda de cloro, se llena con solución de hipoclorito de sodio (4.7) y transcurrida 1 h, se aclara con abundante agua (4.1). Durante el transcurso del análisis es conveniente guardar un lote de material de vidrio para la determinación de cloro libre y otro para la determinación de cloro total, para evitar la contaminación del lote destinado al cloro libre.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Muestra de ensayo

Se inicia la determinación inmediatamente después de la toma de muestras. En todo momento debe evitarse la exposición a la luz, la agitación y el calor.

6.2 Porciones de ensayo

Se toman dos porciones de ensayo de 100,0 ml cada una (V_0). Si la concentración de cloro total sobrepasa los 70 $\mu\text{mol/l}$ (5 mg/l), es necesario tomar un volumen más pequeño de la muestra de ensayo, V_1 , y diluir con agua (4.1) a 100,0 ml.

6.3 Calibrado

En una serie de matraces aforados de 100 ml, se introducen cantidades crecientes de la solución patrón de iodato de potasio (4.9) de modo que permitan establecer una gama de concentraciones comprendida entre $c(\text{Cl}_2) = 0,423$ y 70,5 $\mu\text{mol/l}$ [$\rho(\text{Cl}_2) =$ de 0,03 a 5 mg/l; de 0,3 a 50 ml de solución patrón (4.9)]. Se añade 1,0 ml de ácido sulfúrico (4.5) y, transcurrido 1 min, 1,0 ml de solución de hidróxido de sodio (4.6). Se diluye a 100 ml con agua (4.1). Se transfieren los contenidos de cada uno de los matraces, sin aclarar, a matraces Erlenmeyer de 250 ml que contengan 5 ml de solución tampón (4.2) y 5 ml del reactivo DPD (4.3), añadidos menos de 1 min antes de la transferencia y se mezcla (véase la nota). Posteriormente, se rellena la cubeta de medida sucesivamente con cada uno de los patrones preparados y se mide, antes de que transcurran 2 min, uno de los valores siguientes:

- la intensidad del color con el comparador (5.1),
- la absorbancia, frente a agua en la cubeta de referencia, por medio de un espectrómetro (5.2 ó 5.3).

Se verifica y se corrige, según se requiera, la escala de patrones del comparador o se establece una curva de calibrado para el espectrómetro. Se efectúa un nuevo calibrado cada vez que se prepare nuevo reactivo DPD y se verifica diariamente un punto de la escala o del gráfico.

NOTA – Se prepara cada solución patrón separadamente, a fin de evitar de que el tampón y el reactivo estén mezclados con antelación excesiva y la aparición de un falso color rojo.

6.4 Determinación del cloro libre

Se transfiere la primera porción de ensayo, sin aclarar, a un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenga 5 ml de solución tampón (4.2) y 5,0 ml de reactivo DPD (4.3) y se mezcla (véase la nota en el apartado 6.3). Se rellena la cubeta de medida con esta solución tratada y se mide inmediatamente el color en las mismas condiciones que las adoptadas en el calibrado (6.3). Se anota c_1 , la lectura de concentración obtenida en la escala del color o en la gráfica de calibrado (6.3).

En caso de aguas desconocidas, con posible carácter muy ácido o muy alcalino, o con una elevada concentración de sales, es aconsejable comprobar que el volumen de solución tampón (4.2) añadido es suficiente para que el pH del agua se encuentre entre 6,2 y 6,5. Si no es así, se utiliza un volumen mayor de solución tampón (4.2).

6.5 Determinación del cloro total

Se transfiere la segunda porción de ensayo, sin aclarar, a un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenga 5 ml de solución tampón (4.2) y 5,0 ml de reactivo DPD (4.3), se añade aproximadamente 1 g de yoduro de potasio (4.4) y se mezcla (véase la nota en el apartado 6.3). Se rellena la cubeta de medida con esta solución tratada y, transcurridos 2 min, se mide el color en las mismas condiciones que las adoptadas en el calibrado (6.3). Se anota c_2 , la lectura de concentración obtenida en la escala del color o en la gráfica de calibrado (6.3).

En caso de aguas desconocidas, con posible carácter muy ácido o muy alcalino, o con una elevada concentración de sales, es aconsejable comprobar que el volumen de solución tampón (4.2) añadido es suficiente para que el pH del agua se encuentre entre 6,2 y 6,5. Si no es así, se utiliza un volumen mayor de solución tampón (4.2).

8 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

8.1 Método de cálculo

8.1.1 Cálculo de la concentración de cloro libre. La concentración de cloro libre, $c(\text{Cl}_2)$, expresada en milimoles por litro, viene dada por la ecuación

$$c(\text{Cl}_2) = \frac{(c_1 - c_3) V_0}{V_1}$$

donde

c_1 es la concentración de cloro determinado según el apartado 6.4, expresada en milimoles de Cl_2 por litro;

c_3 es la concentración correspondiente al manganeso oxidado presente, expresada en milimoles de Cl_2 , (véase el capítulo 7);

NOTA – En ausencia de manganeso oxidado $c_3 = 0$.

V_0 es el volumen máximo, en mililitros, de la porción de ensayo (6.2) ($V_0 = 100,0$ ml);

V_1 es el volumen, en mililitros, de la muestra de ensayo en la porción de ensayo (6.2).

8.1.2 Cálculo de la concentración de cloro total. La concentración de cloro total, $c(\text{Cl}_2)$, expresada en milimoles por litro, viene dada por la ecuación

$$c(\text{Cl}_2) = \frac{(c_2 - c_3) V_0}{V_1}$$

donde

c_2 es la concentración de cloro determinado según el apartado 6.5, expresada en milimoles de Cl_2 por litro;

c_3 , V_0 y V_1 vienen definidos en el apartado 8.1.1.

ANEXO 09: Manual para la cloración de agua potable

MANUAL PARA LA **CLORACIÓN**
DEL AGUA EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE
EN EL ÁMBITO RURAL



Agente desinfectante		Ventajas	Desventajas
Agentes físicos	Filtración	<ul style="list-style-type: none"> • Retiene todo tipo de microorganismos incluyendo quistes de parásitos. • Filtros lentos pueden alcanzar 96% de eficiencia de remoción de bacterias y los filtros rápidos hasta 98%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo funciona para microorganismos de gran tamaño. • Funciona con baja turbiedad. • No elimina algas y diatomeas que generan olores y color al agua. • No tiene efecto residual.
	Radiación ultravioleta	<ul style="list-style-type: none"> • Destruye ADN de bacterias y virus. • No requiere de tiempos de contacto altos. • No altera las características del agua. • Su aplicación es sencilla y de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene efecto residual. • El mantenimiento de las lámparas requiere personal calificado. • Requiere energía eléctrica para su aplicación. • Puede disminuir su eficacia en aguas turbias o con color.
Agentes químicos	Cloración	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene efecto residual. • Es de fácil aplicación y bajo costo. • Requiere cortos periodos de contacto. • Muy efectivo para bacterias y virus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede agregar sabor, olor y color al agua. • Baja capacidad desinfectante en aguas con pH mayores a 7.5. • Requiere cuidadoso almacenamiento y manipulación. • Es altamente corrosivo. • Puede generar subproductos peligrosos para la salud (trihalometanos y compuestos orgánicos halogenados y no halogenados). • No es efectivo para remover huevos y quistes de parásitos. • Operación y mantenimiento simples de equipos.
	Ozono	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de contacto mucho menores que el cloro. • Capacidad de desinfección no depende del pH. 	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene efecto residual. • Alto costo respecto al cloro. • Baja vida media en el agua, menos de 30 minutos. • Requiere equipos especializados y energía para su aplicación. • Complicado mantenimiento de equipos.

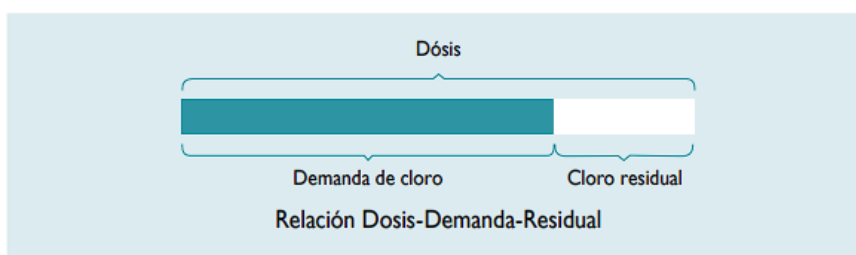
2.2.5 Dosis de cloro

La dosis del desinfectante depende del tipo de agua a clorar. Deberá determinarse antes de poner en funcionamiento el sistema de agua potable. La determinación exacta requiere de un laboratorio y personal especializado.

Se recomienda determinar la dosis de cloro por lo menos dos veces al año, según varíe las características físico-químicas del agua a desinfectar. Por ejemplo, durante la época de lluvias y épocas de estiaje (ausencia de lluvias).

La dosis de cloro para desinfectar el agua es equivalente a:

$$\text{Dosis de cloro (mg/L)} = \text{Demanda de cloro (mg/L)} + \text{Cloro residual libre (mg/L)}$$



<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>

En Perú, la norma establece la obligatoriedad de al menos 0.50mg/L de cloro residual libre en el agua que será abastecida como potable. Por tanto, la dosis de cloro será:

$$\text{Dosis cloro (mg/L)} = \text{Demanda de cloro (mg/L)} + 0.50 \text{ mg/L}$$

Como se observa en la expresión anterior es muy importante determinar la demanda de cloro a fin de establecer la dosis de cloro a aplicar en la cloración del agua. La demanda de cloro, como se indicó en el punto 5.2 es la concentración de cloro necesaria para eliminar todos los microorganismos más la concentración de cloro que reacciona con todas las sustancias presentes en el agua.

La demanda de cloro se determina en el laboratorio agregando distintas dosis al agua, hasta lograr que el incremento de la dosis de cloro corresponda al mismo aumento de cloro residual libre en el agua. Cuando se grafican los resultados se obtiene un gráfico como el de la Figura 12.