



Esta obra está bajo una  
[Licencia Creative Commons  
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)  
Vea una copia de esta licencia en  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

# **Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

**Autor:**

Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo  
<https://orcid.org/0000-0003-3552-3410>

**Asesor:**

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza  
<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

**Coasesor:**

Ing. Mg. Adolfo Enrique Guerrero Escobedo  
<https://orcid.org/0000-0003-4512-8684>

**Moyobamba, Perú**

**2025**



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

# **Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

**Autor:**

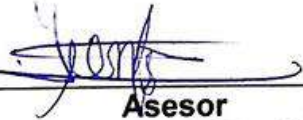
Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo

Sustentado y aprobado el 11 de junio del 2025, ante el siguiente jurado:

  
\_\_\_\_\_  
**Presidente de Jurado**  
Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

  
\_\_\_\_\_  
**Secretario de Jurado**  
Ing. M.Sc. Stanler Irigoín  
Vásquez

  
\_\_\_\_\_  
**Vocal de Jurado**  
Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco  
Trigozo

  
\_\_\_\_\_  
**Asesor**  
Ing. Dr. Yrwin Francisco  
Azabache Liza

  
\_\_\_\_\_  
**Coasesor**  
Ing. Mg. Adolfo Enrique Guerrero  
Escobedo

Moyobamba, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS CONDUCENTES A  
TÍTULO PROFESIONAL N° 019-2025-UNSM/EPIS/UI**

**Jurado reconocido con Resolución N° 249-2022-UNSM/CFT/FE, Moyobamba 01 de agosto de 2022.**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**

**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA SANITARIA**

A las 16:00 horas, del día miércoles 11 de junio de 2025, inició el acto público de sustentación del informe final de tesis “**Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022**”, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario, presentado por **Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo**, con la asesoría del **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza** y por el co-asesor **Ing. M.Sc. Adolfo Enrique Guerrero Escobedo**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el **Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia** (Presidente del jurado), **Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez** (Secretario), **Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo** (Vocal) y acompañado por el **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza** (Asesor) y por el co-asesor **Ing. M.Sc. Adolfo Enrique Guerrero Escobedo**, el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 373-2022-UNSM/CFT/FE, de fecha 02 de noviembre de 2022**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondida por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue... **QUINCE (15)**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es APROBATORIA y correspondiente a la calificación de Bueno. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 002 del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 17:30 horas, el mismo día 11 de junio de 2025.

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia  
**Presidente de Jurado**

Ing. M.Sc. Stander Trigoín Vásquez  
**Secretario de Jurado**

Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo  
**Vocal del Jurado**

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza  
**Asesor**

Ing. M.Sc. Adolfo Enrique Guerrero Escobedo  
**Co-Asesor**

Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo  
**Autor**

## Declaratoria de autenticidad

**Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo**, con DNI N° 73507796, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 11 de junio del 2025.



**Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo**  
DNI N° 73507796

## Ficha de identificación

<p><b>Título:</b> Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022</p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ciencia y tecnología ambiental  <b>Línea de investigación:</b> Saneamiento Ambiental  <b>Sublínea de investigación:</b> Tratamiento del agua  <b>Grupo de investigación:</b> Tecnologías de tratamiento del agua (Resolución N° 135-2023-UNSM/CFT/FE)  <b>Tipo de investigación:</b>            Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b> Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo</p>	<p>Facultad de Ecología            Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria  <a href="https://orcid.org/0000-0003-3552-3410">https://orcid.org/0000-0003-3552-3410</a></p>
<p><b>Asesor:</b> Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza</p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b>            Facultad de Ecología            Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria            Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria  <a href="https://orcid.org/0000-0003-1396-9745">https://orcid.org/0000-0003-1396-9745</a></p>
<p><b>Coasesor:</b> Ing. Mg. Adolfo Enrique Guerrero Escobedo</p>	<p><b>Contraparte científica:</b>            Facultad o Institución: Facultad de Ecología            Unidad o Laboratorio: Ingeniería Sanitaria            País: Perú  <a href="https://orcid.org/0000-0003-4512-8684">https://orcid.org/0000-0003-4512-8684</a></p>

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo en primera instancia a Dios, fuente de vida quien me ha guiado en cada paso de este camino. Asimismo, a mis amados padres, cuyo apoyo constante, amor infinito y sacrificios inquebrantables han sido pilares fundamentales durante todo este proceso.

Del mismo modo, a mis familiares y amigos cercanos que me brindaron su permanente ayuda para desarrollarme como un excelente profesional en la carrera de ingeniería sanitaria, ser un pilar firme de ánimo y por acompañarme en los momentos más desafiantes, ayudándome a superar adversidades y celebrando conmigo cada pequeño o gran triunfo.

Finalmente, a todos aquellos que confían en el poder transformador del conocimiento y la investigación. Espero que este trabajo contribuya significativamente al desarrollo de futuros estudios en este campo y siga siendo una herramienta positiva para impactar nuestra sociedad.

**Segundo Reynaldo**

## Agradecimientos

Ante todo, expreso mi más profunda gratitud a mis padres, quienes me brindaron las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional, así como la sabiduría y el entendimiento que me permitieron concretar este sueño tan anhelado. Su apoyo constante, desinteresado y lleno de amor ha sido un pilar fundamental a lo largo de todo este proceso.

De igual manera, extendo mi agradecimiento a los doctores Yrwin Francisco Azabache Liza y Adolfo Enrique Guerrero Escobedo, cuyas valiosas contribuciones, derivadas de su vasta experiencia en investigación, han sido esenciales en la realización de este proyecto. Sus acertadas orientaciones, dedicación y tiempo resultaron claves para el éxito de esta tesis. También, agradezco al ingeniero Juan Carlos Dávila Cardozo por su significativo aporte en cada etapa del trabajo, diseño y análisis de datos, sumando un valor invaluable al desarrollo de este estudio.

Por último, reconozco con gratitud a todos los docentes que compartieron sus conocimientos conmigo a lo largo de mi formación profesional. Las enseñanzas y vivencias compartidas en las aulas han sido un cimiento sólido para este trabajo y han influido de manera determinante en mi crecimiento académico.

El autor

## Índice general

Ficha de identificación .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	13
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Antecedentes de la investigación .....	20
2.1.1. A nivel internacional .....	20
2.1.2. A nivel nacional .....	21
2.1.3. A nivel local .....	21
2.2. Fundamentos teóricos .....	22
2.2.1. Agua potable .....	22
2.2.2. Demanda óptima de agua .....	24
2.2.3. Consumo de hipoclorito de calcio .....	28
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	33
3.1.1. Contexto de la investigación.....	33
3.1.2. Periodo de ejecución .....	33
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	33
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad .....	33
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales .....	34
3.2. Sistema de variables .....	34
3.2.1. Variables principales .....	34

	10
3.3. Procedimientos de la investigación.....	35
3.3.1. Diseño analítico, muestral y experimental .....	35
3.3.2. Determinar la demanda óptima de agua en el centro poblado.....	36
3.3.3. Evaluar la dosis óptima de hipoclorito de calcio.....	37
3.3.4. Realizar una propuesta de la cantidad óptima de desinfectante que se debe agregar al agua.....	39
3.3.5. Evaluar la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio .....	40
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1. Demanda óptima de agua en el centro poblado Vista Alegre .....	42
4.2. Dosis óptima de hipoclorito de calcio.....	45
4.3. Cantidad óptima de desinfectante que se debe agregar al agua .....	51
4.4. Demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio .....	55
4.4.1. Prueba de hipótesis.....	56
4.4.2. Contraste de hipótesis.....	56
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS .....	67
Anexo 1: Mapa de ubicación de lugar de estudio .....	67
Anexo 2: Cálculos de la demanda óptima de agua y dosis óptima de hipoclorito de calcio .....	68
Anexo 3: Mediciones de cloro sin propuesta de dosificación.....	70
Anexo 4: Formatos de registro .....	72
Anexo 5: Permiso para ejecución de tesis por partes de la municipalidad distrital de Soritor .....	76
Anexo 6: Rollo fotográfico .....	77

## Índice de tablas

Tabla 1. Dotación según tipo de opción tecnológica (l/hab.d) .....	26
Tabla 2. Dotaciones para instituciones educativas en la zona rural .....	26
Tabla 3. Valores de los coeficientes de variación de consumo .....	27
Tabla 4. Caudal de diseño en estructuras de agua potable .....	28
Tabla 5. Desinfectantes químicos a base de cloro .....	30
Tabla 6. Límites máximos permisibles (LMP) de cloro residual.....	31
Tabla 7. Descripción de variables por objetivo específico .....	34
Tabla 8. Fechas de muestreo de cloro residual sin la propuesta de dosificación .....	40
Tabla 9. Comparación de la concentración de cloro residual .....	40
Tabla 10. Fechas de muestreo de cloro residual con la propuesta de dosificación .....	42
Tabla 11. Coordenadas del sistema de agua potable .....	42
Tabla 12. Datos poblacionales del centro poblado Vista Alegre.....	42
Tabla 13. Tasa de crecimiento aritmético .....	42
Tabla 14. Parámetros de demanda de agua potable (2021-2023) .....	43
Tabla 15. Demanda de agua potable en el centro poblado Vista Alegre (2021-2023). .....	43
Tabla 16. Demanda óptima de agua (caudal máximo diario) .....	43
Tabla 17. Proyección de la demanda óptima de agua .....	44
Tabla 18. Datos del reservorio.....	45
Tabla 19. Especificaciones del sistema de dosificación .....	45
Tabla 20. Primer monitoreo de cloro residual .....	46
Tabla 21. Análisis estadístico para cada punto de muestreo en el primer monitoreo ..	46
Tabla 22. Análisis de decaimiento del cloro por tramo en el primer monitoreo.....	51
Tabla 23. Identificación de deficiencias operativas .....	51
Tabla 24. Cálculo de la dosis óptima .....	51
Tabla 25. Parámetros de dosificación propuesta .....	51
Tabla 26. Cálculos detallados del sistema .....	51
Tabla 27. Proceso de preparación .....	52
Tabla 28. Cronograma de implementación de la nueva dosificación propuesta.....	52
Tabla 29. Programa de capacitación .....	53
Tabla 30. Plan de control operativo .....	53
Tabla 31. Resultados de monitoreo de cloro residual de la propuesta de dosis.....	53
Tabla 32. Análisis estadístico de la concentración de cloro residual de la propuesta de dosificación.....	54

Tabla 33. Análisis de decaimiento del cloro por tramo de la propuesta de dosificación.....	54
Tabla 34. Prueba de normalidad.....	55
Tabla 35. Prueba estadística correlacional paramétrica.....	55
Tabla 36. Resumen de modelo de regresión lineal simple.....	56

## Índice de figuras

Figura 1. Curva de cloración y punto de quiebre.....	31
Figura 2. Tecnología de cloración por goteo en zonas rurales.....	31
Figura 3. Esquema de dosificación de hipoclorito de calcio..	31
Figura 4. Límites máximo permisibles para cloro residual según la OMS. ....	47
Figura 5. Límites máximo permisibles para cloro residual según DIGESA.....	50
Figura 6. Límites máximo permisibles para cloro residual según la tecnología de cloración por goteo. ....	48

## RESUMEN

Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022

A nivel global uno de los desinfectantes más comunes es el hipoclorito de calcio que se utiliza ampliamente debido a su fuerte potencial oxidante y su eficacia para matar microorganismos, es especialmente utilizado en zonas rurales. No obstante, es fundamental garantizar que las concentraciones de cloro en la red de distribución de agua se mantengan dentro de los rangos adecuados. Esto implica asegurar una cantidad mínima de desinfectante para prevenir el crecimiento de microorganismos. A la vez, es esencial evitar que los niveles de cloro y sus productos derivados de la desinfección superen los límites máximos establecidos. Además, las dosis más altas de cloro aumentan el consumo de productos químicos, lo que genera mayores costos operativos. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio en el centro poblado Vista Alegre, ubicado en el distrito de Soritor, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín, durante el 02 – 11 – 2022 al 02 – 07 – 2023. El estudio surgió ante la necesidad de optimizar el proceso de cloración, ya que el sistema actual emplea 1,6 kg de hipoclorito de calcio semanalmente sin un control sistemático. La metodología incluyó tres fases principales: primero, la determinación de la demanda óptima de agua mediante el análisis poblacional y la aplicación de métodos de proyección aritmético; segundo, la evaluación de la dosis óptima de hipoclorito de calcio a través del monitoreo del cloro residual en tres puntos estratégicos (reservorio, primera y última casa); y tercero, el desarrollo de una propuesta de dosificación optimizada y monitoreo de cloro residual. Los resultados mostraron un crecimiento poblacional estable del 1,60% anual, con una demanda óptima de agua que evolucionó de 0,387 l/s en 2021 a 0,393 l/s en 2023. El análisis del sistema de cloración reveló una alta variabilidad en las concentraciones de cloro residual ( $CV > 100\%$ ) y patrones de decaimiento significativos (31,03-65,52%) en el primer tramo de distribución. Como solución, se propuso una nueva dosificación de 0,54 kg de hipoclorito de calcio con un tiempo de recarga de 7 días, con un sistema de goteo a 60 mL/min, lo que permitió mantener las concentraciones dentro de los rangos normativos (0,5-1,0 mg/l) y reducir el consumo de desinfectante en un 66,25%. Se concluye que la optimización del sistema requiere un enfoque integral que considere tanto la demanda de agua como los factores que afectan el decaimiento del cloro, estableciendo una relación directa entre ambas variables que permite desarrollar sistemas de dosificación más eficientes y económicos para comunidades rurales similares.

**Palabras clave:** Tratamiento de agua, cloro residual, sistema de dosificación, abastecimiento rural, calidad del agua.

## ABSTRACT

Evaluation of optimal water demand and its influence on calcium hypochlorite consumption.  
Soritor, 2022.

Globally, one of the most common disinfectants is calcium hypochlorite, which is widely used due to its strong oxidizing potential and effectiveness in killing microorganisms. It is especially used in rural areas. However, it is essential to ensure that chlorine concentrations in the water distribution network remain within the appropriate ranges. This means ensuring a minimum amount of disinfectant to prevent the growth of microorganisms. At the same time, it is essential to prevent chlorine levels and its disinfection by-products from exceeding the established maximum limits. In addition, higher doses of chlorine increase chemical consumption, leading to higher operating costs. The objective of this research was to evaluate the optimal water demand and its influence on calcium hypochlorite consumption in the town of Vista Alegre, located in the district of Soritor, province of Moyobamba, department of San Martín, during the period from November 2, 2022, to July 2, 2023. The study arose from the need to optimize the chlorination process, as the current system uses 1.6 kg of calcium hypochlorite weekly without systematic control. The methodology included three main phases: first, determining the optimal water demand through population analysis and the application of arithmetic projection methods; second, evaluating the optimal dose of calcium hypochlorite by monitoring residual chlorine at three strategic points (reservoir, first and last house); and third, the development of a proposal for optimized dosing and monitoring of residual chlorine. The results showed stable population growth of 1.60% per year, with optimal water demand evolving from 0.387 l/s in 2021 to 0.393 l/s in 2023. Analysis of the chlorination system revealed high variability in residual chlorine concentrations ( $CV > 100\%$ ) and significant decay patterns (31.03-65.52%) in the first distribution section. As a solution, a new dosage of 0.54 kg of calcium hypochlorite with a recharge time of 7 days was proposed, using a drip system at 60 mL/min, which allowed concentrations to be maintained within the regulatory ranges (0.5-1.0 mg/l) and reduced disinfectant consumption by 66.25%. It is concluded that optimizing the system requires a comprehensive approach that considers both water demand and factors affecting chlorine decay, establishing a direct relationship between the two variables that allows for the development of more efficient and economical dosing systems for similar rural communities.

**Keywords:** Water treatment, residual chlorine, dosing system, rural supply, water quality.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial, el agua se destaca indiscutiblemente como uno de los recursos más esenciales, siendo vital para la sobrevivencia de todos los seres vivos y el equilibrio de los ecosistemas. Asimismo, su relevancia se extiende a múltiples sectores, incluyendo la agricultura, la industria, potabilización, las actividades domésticas y la preservación del medio ambiente (Liam, 2008). Por otra parte, el agua dulce representa aproximadamente el 3% del total de agua en el planeta, pero cerca del 2,5% de esta no es accesible, puesto que, se encuentra atrapada en los casquetes polares, los glaciares, está altamente contaminada, o yace a profundidades tan grandes que su extracción resulta inviable económicamente (Kumar et al., 2021).

Anudando a ello, del total de agua dulce disponible, solo el 0,02% se localiza en ríos, lagos y arroyos, mientras que el 0,48% corresponde a aguas subterráneas. Estos recursos hídricos son aprovechados para el abastecimiento de agua potable, así como para actividades ecológicas, recreativas, de transporte fluvial y para la gestión de desechos (Lora, 2010). En consecuencia, resulta fundamental disponer de un sistema de tratamiento para la purificación del agua, con el propósito de asegurar su calidad óptima. Esto cobra especial relevancia ante la creciente urgencia de garantizar el acceso universal a agua potable segura y en condiciones adecuadas, en un contexto donde los desafíos relacionados con su escasez y contaminación se agravan progresivamente (Farah et al., 2023).

De acuerdo a los datos de la UNESCO (2019), aproximadamente dos mil millones de seres humanos carecen de acceso a recursos hídricos potables y sanitariamente confiables, circunstancia que profundiza las deficiencias sanitarias, principalmente en territorios con economías emergentes. Específicamente, el continente africano concentra casi la mitad de la población que consume líquido vital proveniente de manantiales desprotegidos e insalubres. De manera análoga, los habitantes de menores recursos económicos residentes en asentamientos marginales, desprovistos de infraestructura hidráulica básica, se ven obligados a erogar entre diez y veinte veces más recursos económicos por cada unidad de agua en comparación con los residentes de zonas habitacionales con mayores privilegios socioeconómicos.

Por otro lado, la calidad del agua utilizada para consumo humano depende en gran medida de los procesos de tratamiento, entre ellos, la desinfección, que implica

principalmente el uso de cloro como desinfectante, que se emplea ampliamente para garantizar su potabilidad. Sin embargo, al aplicar este método, se forman subproductos de desinfección no deseados (DBP), estos compuestos tienen, en general, un impacto negativo en la salud humana (Roque et al., 2023). Asimismo, una mayor demanda de agua suele provocar un mayor consumo de cloro, ya que es necesario tratar y desinfectar más agua. Esto se debe a la necesidad de mantener niveles adecuados de cloro residual en todo el sistema de distribución para garantizar la seguridad microbiana (Boindala et al., 2023).

Adicionalmente, uno de los desinfectantes más comunes es el hipoclorito de calcio que se utiliza ampliamente debido a su fuerte potencial oxidante y su eficacia para matar microorganismos, es especialmente utilizado en plantas de tratamiento de agua más pequeñas y sistemas de pozos (Rossington, 2013). No obstante, es fundamental garantizar que las concentraciones de cloro en la red de distribución de agua se mantengan dentro de los rangos adecuados. Esto implica asegurar una cantidad mínima de desinfectante para prevenir el crecimiento de microorganismos. A la vez, es esencial evitar que los niveles de cloro y sus productos derivados de la desinfección superen los límites máximos establecidos (Fisher, 2019). Además, las dosis más altas de cloro aumentan el consumo de productos químicos, lo que genera mayores costos operativos (Sime y Kansal, 2024).

En América Latina, el hipoclorito de calcio es ampliamente utilizado como desinfectante, como se evidencia en países como Brasil, México y Colombia, donde se implementaron dispositivos en áreas rurales para inyectar soluciones cloradas al agua con el fin de disminuir la contaminación bacteriana. Sin embargo, la eficacia de estas intervenciones disminuyó con el tiempo, lo que resalta la necesidad de considerar las condiciones locales antes de su aplicación. Además, se hace imprescindible garantizar el apoyo continuo y promover el mantenimiento de los cambios conductuales tanto durante como después de la implementación (Nielsen et al., 2022). Por otro lado, en un centro poblado de Guatemala, la deficiente dosificación de cloro provocó que únicamente el 24% de las muestras tomadas de los grifos alcanzaran los niveles mínimos de cloro residual exigidos por la normativa (0,2 mg/l). Esta situación pone de manifiesto la importancia de garantizar una dosificación adecuada para cumplir con los estándares de calidad del agua y prevenir riesgos sanitarios (Locher et al., 2024). Por lo contrario, una sobre cloración, es decir, dosis más altas de cloro y los tiempos de contacto más prolongados aumentan la formación de productos tóxicos (Velioğlu et al., 2023).

En las zonas rurales de Perú, solo el 9,2% de la población accede a agua proveniente de una red pública que contiene algún nivel de cloro. De este porcentaje, únicamente el 3,2% consume agua con una concentración de cloro adecuada, mientras que el 6,0% restante lo hace con niveles insuficientes o inapropiados, evidenciando las deficiencias en la calidad del tratamiento del agua en estas áreas (INEI, 2020). Asimismo, de las 323 organizaciones comunales encargadas de gestionar sistemas de agua, 265 (equivalente al 82%) cuentan con algún tipo de equipo clorador, pero únicamente 206 (64% del total) están en funcionamiento. Además, solo en 103 sistemas se realizan pruebas para medir los niveles de cloro residual, y de estos, únicamente 71 registran los resultados obtenidos, evidenciando una gestión limitada en el monitoreo y mantenimiento de la calidad del agua, lo que señala que existe un inadecuado manejo de la dosis de cloro en las zonas donde no realizan la cloración (SUNASS, 2024).

En San Martín, cerca al 19% de la población consume agua con niveles de cloro residual superior a los 0,5 mg/l provenientes de la red de distribución (INEI, 2020). Sin embargo, en diversos centros poblados, las dosis de desinfección son aplicadas de manera empírica sin considerar la demanda real. Por ejemplo, Dávila (2023) identificó que una junta administradora de agua del distrito de Soritor utilizaba de forma improvisada 5,5 kg de hipoclorito de calcio para un caudal de ingreso al reservorio de 5,5 l/s y un tiempo de recarga de 7 días, lo que generó gastos innecesarios, alteración en el sabor del agua, molestias en la población y una sobredosificación del desinfectante.

A nivel local, el centro poblado Vista Alegre del distrito de Soritor actualmente cuenta con un sistema de agua por gravedad con tratamiento, el cual capta 1 l/s de agua y emplea 1,6 kg de cloro por recarga (semanal), sin embargo, la cantidad de hipoclorito de calcio no está siendo adicionada en cantidades óptimas ocasionando molestias en la población por el sabor y olor del agua, incluso malestar de salud en alguno de ellos, por lo cual el presente proyecto estuvo enfocado en establecer la concentración óptima y la demanda óptima de consumo de agua.

La optimización y expansión del servicio de agua potable constituye una prioridad fundamental, considerando su naturaleza esencial para la supervivencia y el bienestar humano. La implementación de procesos de tratamiento que cumplan rigurosamente con los parámetros establecidos en la normativa vigente resulta crucial para garantizar la eliminación efectiva de sustancias nocivas y mantener los estándares fisicoquímicos y microbiológicos dentro de los límites permisibles. La inadecuada gestión de estos procesos de tratamiento puede derivar en graves consecuencias para la salud pública, manifestándose en diversas patologías que afectan al conjunto de la población. Ante

esta problemática, surge la siguiente interrogante como eje central de la investigación: ¿En qué medida se puede evaluar la demanda óptima de agua para determinar su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio?

La investigación planteó como hipótesis: La evaluación de la demanda óptima de agua influye significativamente en el consumo de hipoclorito de calcio. Para lo cual se planteó como objetivo general: evaluar la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Siendo los objetivos específicos: determinar la demanda óptima de agua en el centro poblado; evaluar la dosis óptima de hipoclorito de calcio; realizar una propuesta de la cantidad óptima de desinfectante que se debe agregar al agua.

La investigación presenta los siguientes capítulos: El capítulo I: Se desarrolló una introducción a la investigación. Capítulo II: Se ha descrito los antecedentes y fundamentos teóricos de la investigación. Capítulo III: Se describió los métodos y se colocaron los instrumentos utilizados en la investigación, en especial en el uso de equipos y la determinación de parámetros de forma cuantitativa. Capítulo IV: se presentan los resultados de la investigación además de discusiones; para finalmente llegar a las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. A nivel internacional**

Reyes (2024), desarrolló una investigación en el área rural del Recinto La Pita, ubicado en la vía Noboa del cantón Jipijapa, Ecuador, donde determinó la demanda óptima de agua en función a coeficientes de variación de agua. Además, aplicó encuestas a una población de 284 habitantes, con el obtuvo una tasa de crecimiento anual del 0,015%. Basándose en una dotación de 100 litros por habitante al día y considerando un 20% de pérdidas por fugas. Concluyó que, el caudal promedio ( $Q_p$ ) fue 0,39 l/s y un caudal máximo diario ( $Q_{md}$ ), correspondiente al ingreso al reservorio, de 0,51 l/s, empleando un factor de variación  $k_1$  igual a 1,3.

Belmino et al. (2022), analizaron el comportamiento de la descomposición del cloro residual libre en agua destinada al consumo humano, realizando ensayos a escala de laboratorio con diversos agentes desinfectantes, entre ellos hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio. Los resultados revelaron que, al comparar las curvas de disminución del cloro residual para los distintos desinfectantes, el hipoclorito de calcio presentó una estabilidad destacada, ocupando la segunda posición en cuanto a desempeño. Asimismo, se determinó que, para garantizar la efectividad del desinfectante, es necesario que la concentración mínima de cloro residual a lo largo de la red de distribución de agua sea de 0,5 mg/l.

Benítez (2021), realizó una investigación en la Comuna San Ramón de la Chilintosa, Ecuador, donde evaluó las características físico-químicas del agua destinada al consumo humano. Con base en los resultados obtenidos, desarrolló un sistema automatizado de dosificación de hipoclorito de calcio  $Ca(ClO)_2$ , diseñado para un caudal de ingreso al reservorio de 2,5 l/s, utilizando 3,2 kg del compuesto durante un periodo de siete días, con una dosificación continua de 98 ml/min. Concluyó que, la efectividad de un sistema de cloración radica en la dosificación exacta de la solución desinfectante, destacando la necesidad de cálculos precisos para lograr una desinfección óptima y asegurar agua de calidad superior.

### 2.1.2. A nivel nacional

Vasquez (2024), llevó a cabo un estudio en el centro poblado Rutuna, ubicado en el departamento de Áncash, con el objetivo de analizar la presencia de cloro residual en la red de distribución de agua potable. La investigación, de carácter aplicativo y descriptivo, utilizó un diseño no experimental con enfoque longitudinal. Los resultados indicaron que únicamente el 73,3% de las muestras analizadas cumplían con los estándares establecidos en la normativa vigente. De las muestras que no alcanzaron los valores requeridos, el 95,7% correspondió a aquellas recolectadas después del día 22. Mediante un análisis estadístico, se concluyó que la preparación de la solución de cloración debe realizarse para un período no mayor a 15 días.

Barrientos y Huacan (2021), llevaron a cabo una investigación en el Centro Poblado de Calacoa con el propósito de evaluar la efectividad del hipoclorito de calcio en la generación de cloro residual en el agua. Determinaron que el sistema de desinfección empleado fue el de cloración por goteo, con una tasa de 2 l/h, mientras que el caudal de salida del reservorio alcanzó los 12 l/s. En el estudio, se aplicaron dos dosificaciones de hipoclorito de calcio granulado: la primera, correspondiente al 60%, requirió 14,4 kg, y la segunda, al 70%, utilizó 16,8 kg. Los resultados indicaron que la dosificación de 16,8 kg es la más eficiente para la desinfección, ya que permitió mantener concentraciones de cloro residual libre en las tuberías dentro del rango adecuado, fluctuando entre 0,79 mg/l y 1,66 mg/l.

Galindo (2021), llevó a cabo un estudio en un centro poblado de Apurímac donde determinó la demanda óptima de agua. La investigación, fue de carácter descriptivo y enfoque transversal, utilizó los datos censales del INEI de 2007 y 2017 para calcular la población y su tasa de crecimiento, obteniendo una proyección de 265 habitantes para el año 2041 con una tasa de incremento anual del 0,187%. Asimismo, se determinó un consumo promedio ( $Q_p$ ) de 0,41 l/s, considerando un 25% de pérdidas por fugas, y un caudal máximo diario ( $Q_{md}$ ) de 0,55 l/s, utilizando un factor de variación de  $k_1 = 1,3$ , según las disposiciones del reglamento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

### 2.1.3. A nivel local

Dávila (2023), en su investigación desarrollada en el sistema de agua potable del centro poblado San Marcos del distrito de Soritor. El estudio de investigación fue básico, del tipo descriptivo – transversal, tuvo por objetivo evaluar la eficiencia del hipoclorador de goteo de carga constante de doble recipiente en la desinfección de agua potable. Finalmente, concluye que, a dosis óptima de cloro fue 4 kg de hipoclorito de calcio al

70% para una solución madre de 600 litros, con un tiempo de recarga de cada 4 días aproximadamente. Además, el registro de cloro residual en el reservorio mostrando datos entre 1,0 mg/l y 1,5 mg/l y en redes de distribución entre 0,5 mg/l y 1,0 mg/l cumpliendo los límites máximos permisibles (LMP).

Muñoz (2023), llevó a cabo un estudio en el centro poblado Santa Rosa, ubicado en el distrito de Soritor, con el objetivo de realizar la cloración mediante el uso del hipoclorito de calcio. Concluyó que, los niveles de cloro residual en el reservorio oscilaron entre 1,0 mg/l y 1,5 mg/l, mientras que en los puntos de consumo de los usuarios variaron entre 0,5 mg/l y 1,0 mg/l, manteniéndose dentro de los rangos establecidos por la normativa. Para un caudal de ingreso al reservorio de 0,9 l/s y un periodo de recarga de 7 días, se utilizó hipoclorito de calcio al 70%, con un consumo aproximado de 1,17 kg del desinfectante y un caudal de goteo regulado a 60 ml/min.

## **2.2. Fundamentos teóricos**

### **2.2.1. Agua potable**

El agua potable se define como aquella apta para el consumo humano y otros usos domésticos, caracterizada por su claridad, ausencia de color, sabor y olor desagradables. Para considerarse segura, no debe contener compuestos químicos dañinos, sean orgánicos o inorgánicos, ni microorganismos patógenos que representen un riesgo para la salud. La calidad del agua potable es un aspecto crucial en términos de salud pública a nivel global, ya que es indispensable para actividades cotidianas como beber, cocinar, y mantener la higiene personal (Bartram y Godfrey, 2015; Chow, 2005).

Asimismo, constituye un elemento esencial para la vida, ya que su ausencia en cantidades adecuadas puede resultar fatal en un breve lapso de tiempo (Popkin et al., 2010). Este recurso vital no solo es indispensable para la supervivencia humana, sino también para la subsistencia de todas las formas de vida en el planeta. Por consiguiente, la salud y el bienestar de los seres humanos dependen profundamente tanto de la cantidad como de la calidad del agua que consumimos (Mythrey et al., 2012).

Por lo tanto, el acceso al agua potable es un aspecto fundamental que no debe subestimarse, ya que su ausencia en condiciones seguras representa un desafío crucial para la salud pública, particularmente en los países en vías de desarrollo. En muchas regiones del mundo, enfermedades como el cólera, la fiebre tifoidea y la disentería, originadas por el consumo de agua contaminada, figuran entre las principales causas de enfermedad y muerte. Por esta razón, resulta imprescindible implementar acciones que garanticen un suministro adecuado de agua limpia y accesible, con el fin de

promover la salud colectiva, prevenir la propagación de enfermedades relacionadas con el agua y mejorar las condiciones de vida de la población. Además, las iniciativas enfocadas en asegurar la disponibilidad de este recurso esencial no solo fomentan el bienestar individual y comunitario, sino que también contribuyen al desarrollo sostenible al mitigar las desigualdades sociales y económicas asociadas a su escasez de vida de la población en general. Las iniciativas dirigidas a la provisión de agua potable no solo fomentan el bienestar individual y comunitario, sino que también contribuyen al desarrollo sostenible al reducir las desigualdades sociales y económicas asociadas a la falta de este recurso esencial (Arumugam et al., 2023).

En consecuencia, el tratamiento del agua constituye un proceso esencial destinado a optimizar su calidad, de manera que pueda ser utilizada de forma segura para un propósito específico, como el consumo humano, actividades industriales, riego agrícola o su reintegración al entorno natural sin generar impactos negativos en el ecosistema (Rishi et al., 2023). Este procedimiento busca eliminar sustancias de origen biológico, químico o físico que podrían resultar perjudiciales, evitando así el consumo de agua contaminada que podría derivar en riesgos para la salud. Asimismo, asegura que el agua cumpla con los estándares establecidos para su aplicación prevista. Las etapas fundamentales de este proceso comprenden la coagulación, sedimentación, filtración y desinfección (Pakharuddin et al., 2021).

De acuerdo a la ubicación y características de la fuente de suministro, así como de la topografía del terreno, se distinguen dos tipos de sistemas: los de gravedad y los de bombeo. En el caso de los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente debe encontrarse en una zona elevada de la población para que el agua fluya hacia las tuberías aprovechando únicamente la fuerza gravitacional (CEPIS, 2004).

Según el MVCS (2018), una de las tecnologías utilizadas para el abastecimiento de agua potable es el sistema de gravedad con tratamiento, el cual está compuesto por los siguientes componentes:

- **Captación:** Conjunto de infraestructuras y dispositivos diseñados para regular, desviar y extraer el mayor caudal posible de fuentes hídricas, ya sean superficiales, como ríos o lagos, o subterráneas, como acuíferos. Estas instalaciones son fundamentales para garantizar el abastecimiento de agua en diversos procesos, desde el consumo humano hasta aplicaciones industriales o agrícolas (MVCS, 2018).
- **Línea de conducción:** Conjunto de infraestructuras y componentes que enlazan las instalaciones de captación con los reservorios de almacenamiento, pudiendo incluir o no las estaciones de tratamiento intermedias. Estas redes son esenciales para

transportar el agua desde la fuente hasta los sistemas de distribución, asegurando su correcta conducción y presión (MVCS, 2018).

- **Planta de tratamiento de agua potable:** Instalación especializada en la aplicación de procesos químicos y físicos al agua dulce cruda, con el objetivo de purificarla y obtener un agua de alta calidad, apta para el consumo humano. Estos procesos eliminan impurezas, patógenos y contaminantes, garantizando la seguridad y potabilidad del agua para su distribución (Piri et al., 2010).
- **Reservorio:** Estructura sellada diseñada para almacenar agua destinada a diversos usos, como el consumo humano, comercial, gubernamental y social. Dependiendo de su función, los reservorios pueden ser clasificados como de regulación, de reserva, para el mantenimiento de presión, o como una combinación de estos, garantizando un suministro continuo y estable de agua en el sistema de distribución (MVCS, 2018).
- **Desinfección:** Proceso que implica la eliminación o inactivación de microorganismos patógenos responsables de enfermedades transmitidas por el agua, con el fin de prevenir la propagación de infecciones relacionadas con el consumo de agua potable (Konda y Dutta, 2024). Para lograr esta purificación, se emplean diversas técnicas de desinfección, tales como la cloración, la exposición a luz ultravioleta, el uso de ozono, y la combinación de ozono con hidrógeno, las cuales son eficaces para garantizar la potabilidad del agua (Guizani et al., 2018)
- **Línea de aducción:** Conjunto de infraestructuras y componentes destinados a enlazar el reservorio con la red de distribución de agua (MVCS, 2018).
- **Red de distribución:** Conjunto de conductos principales y ramales secundarios que facilitan el suministro de agua potable a los hogares y otros establecimientos para consumo humano. Esta infraestructura es esencial para asegurar la entrega continua y eficiente del recurso a las áreas urbanas y rurales (MVCS, 2018).

### 2.2.2. Demanda óptima de agua

La demanda óptima de agua en los sistemas de suministro se define como el volumen total necesario para satisfacer las necesidades de consumo en una localidad o área específica del proyecto. Este cálculo contempla a los distintos tipos de usuarios, como los domésticos, comerciales, industriales y turísticos, entre otros, además de incluir las pérdidas físicas propias del sistema de distribución (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Se entiende por pérdidas físicas al agua que se pierde debido a fugas en las líneas de conducción, tanques, redes de distribución y conexiones domiciliarias. La magnitud de estas pérdidas está influenciada por diversos factores, entre los que se incluyen la presión de trabajo en las tuberías, la calidad de los materiales y accesorios, el proceso

de construcción, el tipo de material empleado, la antigüedad de los componentes del sistema y el mantenimiento preventivo y correctivo realizado sobre estos elementos. En aquellas ciudades que implementan programas eficaces y bien gestionados para la detección y control de fugas, se puede lograr una reducción significativa de las pérdidas, alcanzando valores cercanos al 20 por ciento (Comisión Nacional del Agua, 2015). Además, Reyes (2024), señala que, en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, el porcentaje ideal de fugas a considerar para los niveles de servicio IIa (conexiones domiciliarias con un grifo por vivienda) y IIb (conexiones domiciliarias con más de un grifo por vivienda) es del 20%.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, una demanda óptima correctamente estimada contribuye a un sistema de abastecimiento que funcione de manera adecuada y sostenible a largo plazo (MVCS, 2018).

### **2.2.2.1. Factores que afectan el consumo**

El consumo de agua está influenciado por diversos factores, entre los que destacan el tipo de comunidad, las condiciones económicas y sociales, los aspectos climáticos y el tamaño de la población. En primer lugar, ya sea en zonas rurales o urbanas, es fundamental considerar el consumo doméstico, industrial, comercial, público y las pérdidas del sistema. Además, las características socioeconómicas de una población se reflejan en el tipo de vivienda, donde el consumo puede variar según el tamaño y estilo de construcción. Por otro lado, las condiciones climáticas, como la temperatura y la distribución de las precipitaciones, también inciden significativamente en el uso del agua. Finalmente, el consumo per cápita guarda una relación directa con el tamaño de la comunidad, aumentando a medida que esta crece (Agüero, 1997).

### **2.2.2.2. Población de diseño**

El cálculo de la población futura utiliza métodos de proyección como el aritmético y geométrico. El método aritmético, recomendado por MVCS (2018) para poblaciones rurales (menor a 2000 habitantes), se expresa:  $P_f = P_i \left( 1 + \frac{r \times t}{100} \right)$

Donde:

Pf = Población futura

Pi = Población inicial

r = Tasa de crecimiento anual

t = Período de diseño (años)

La tasa de crecimiento según Vierendel (2009) se calcula como:  $\frac{P_f - P_i}{P_i(t_f - t_i)} = r$

Dónde:

$T_f$  = tiempo final

$T_i$  = tiempo inicial

Asimismo, para estimar la proyección poblacional, es esencial tener en cuenta toda la información disponible en los censos del INEI, así como disponer de un registro actualizado de los usuarios de la comunidad (MVCS, 2018).

### 2.2.2.3. Dotación

La dotación se refiere a la cantidad de agua requerida para cubrir las necesidades diarias promedio de la población, calculada como el cociente entre la demanda total y la población del área de estudio. Representa el volumen de agua asignado por persona y por día, considerando a todos los usuarios, y se mide en litros por habitante por día. En las zonas rurales, el consumo de agua varía según la región, ya que factores como las condiciones climáticas, las características hidrológicas, las costumbres locales y las actividades diarias de los habitantes influyen de manera significativa en la cantidad utilizada (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Para zonas rurales debe considerarse:

**Tabla 1**

*Dotación según tipo de opción tecnológica (l/hab.d)*

Región	Sin arrastre hidráulico	Con arrastre hidráulico
Costa	60	90
Sierra	50	80
Selva	70	100

Fuente: Tomado de MCVS (2018)

**Tabla 2**

*Dotaciones para instituciones educativas en la zona rural*

Descripción	Dotación (l/alumno.d)
Educación primaria e inferior (sin residencia)	20
Educación secundaria y superior (sin residencia)	25
Educación en general (con residencia)	50

Fuente: Tomado de MCVS (2018)

### 2.2.2.4. Caudales de diseño

#### a) Caudal promedio ( $Q_p$ )

Representa la cantidad de agua necesaria para cubrir las demandas diarias de una población en un día promedio de consumo. Este caudal, que debe extraerse anualmente

de las fuentes de abastecimiento, se calcula en función de la dotación establecida (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Se calcula según MVSC (2018):  $Q_p = \frac{Dot \times P_d}{86400}$

Donde:

$Q_p$ : Caudal promedio diario anual en L/s

Dot: Dotación en l/hab.d

$P_d$ : Población de diseño en habitantes (hab)

### b) Caudal máximo diario y horario

El gasto máximo diario y el gasto máximo horario corresponden a la cantidad de agua necesaria para cubrir las demandas de la población durante un día de mayor consumo y en la hora de mayor demanda dentro de un año tipo, respectivamente (Comisión Nacional del Agua, 2015). Se calcula mediante las siguientes formulas:

$$Q_{md} = Q_p \times k_1 ; Q_{mh} = Q_p \times k_2$$

Dónde:

$Q_p$ : Caudal promedio diario anual en L/s

$Q_{md}$ : Caudal máximo diario en L/s

$Q_{mh}$ : Caudal máximo horario en L/s

$k_1$  y  $k_2$ : coeficientes de variación

**Tabla 3**

*Valores de los coeficientes de variación de consumo*

Coeficientes	Valores	Fuente
$k_1$	1,3	MVCS (2018)
	1,2 – 1,5	Vierendel (2009)
	1,2 -1,4	Comisión Nacional del Agua (2015)
$k_2$	2	MVCS (2018)
	1,8 – 2,5	Vierendel (2009)
	1,55	Comisión Nacional del Agua (2015)

Asimismo, es indispensable para el diseño de las estructuras que componen a un sistema de agua como:

**Tabla 4**  
*Caudal de diseño en estructuras de agua potable*

Tipo de estructura	Diseño con Qmd	Diseño con Qmh
Captación	X	
Línea de conducción	X	
Reservorio	X	
PTAP	X	
Línea de aducción		X
Red de distribución		X

Fuente: Tomado y adaptado de MVCS (2018) y Comisión Nacional del Agua (2015)

### 2.2.3. Consumo de hipoclorito de calcio

#### 2.2.3.1. Cloración

La cloración es uno de los métodos de desinfección más utilizados y reconocidos en el tratamiento del agua. Su propósito principal es erradicar microorganismos dañinos, como bacterias, virus y parásitos, además de eliminar la mayoría de los agentes infecciosos menos resistentes, garantizando así que el agua sea segura para el consumo humano (Andzi y Bouakab, 2013).

Asimismo, de acuerdo con Rodríguez (2024), el cloro desempeña dos funciones fundamentales en el tratamiento del agua. La primera es inactivar la mayoría de los microorganismos patógenos, garantizando que el agua sea segura para el consumo humano. La segunda consiste en mejorar su calidad mediante la oxidación de compuestos como el amonio, hierro, manganeso y sulfuros, además de controlar olores y sabores desagradables y proporcionar un efecto residual.

**Tabla 5**  
*Desinfectantes químicos a base de cloro*

Desinfectante	Caudal (L/s)	Tiempo de contacto (min)	Dosis (mg/l)	pH	Costo de inversión	Costo de operación y mantenimiento
Hipoclorito de calcio	≤ 10	< 30	0,4-4,0	6,0 -7,5	Bajo	Bajo
Cal clorada*	≤ 10	< 30	≤ 1,0	6,0 -7,5	Bajo	Bajo
Cloro gaseoso	≥ 10	> 10	0,4-4,0	6,0 -7,5	Medio	Alto
Hipoclorito de sodio	≤ 10	< 30	0,4-4,0	6,0 -7,5	Bajo	Bajo
Dióxido de cloro	≤ 10	< 30	≤ 1,2	6,0 -7,5	Medio	Medio

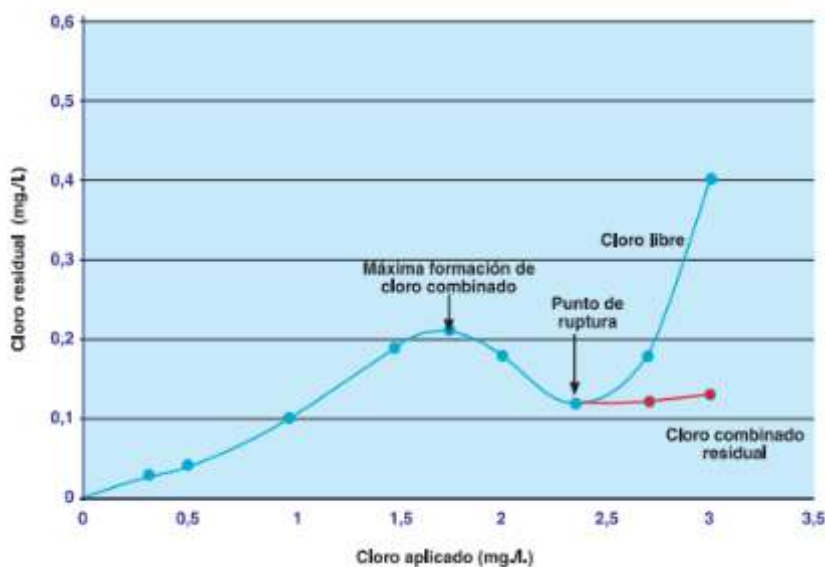
Nota: Tomado y adaptado de Rodríguez (2024)

La efectividad del cloro para eliminar patógenos, como *Escherichia coli*, está directamente relacionada con el producto de su concentración y el tiempo de contacto, un parámetro comúnmente conocido como el factor CRt, este equilibrio es clave para garantizar una desinfección adecuada y segura (Boni et al., 2020). Por lo tanto, la desinfección con cloro no es un proceso inmediato, ya que requiere un tiempo específico

para inactivar los microorganismos presentes en el agua. Este periodo mínimo es de 30 minutos, suficiente para garantizar la eliminación de distintos tipos de patógenos. Además, es crucial que el pH del agua permanezca por debajo de 8 y que la concentración de cloro libre sea igual o superior a 0,5 mg/l al concluir el tiempo de contacto (OMS, 2018).

### 2.2.3.2. Cloro residual

El cloro residual es la cantidad de cloro que permanece en el agua después de haber completado el proceso de cloración inicial. Este remanente es fundamental para garantizar tanto la calidad como la seguridad del agua (Zheng et al., 2015). Asimismo, juega un papel clave en la prevención de la recontaminación dentro de la red de distribución. Sin embargo, su concentración tiende a disminuir debido a las reacciones químicas con los materiales presentes en el agua y las tuberías del sistema (Buamah et al., 2014).



**Figura 1**

*Curva de cloración y punto de quiebre.*

Fuente: Tomado de Ramírez (2017).

La gráfica muestra la relación entre la cantidad de cloro aplicada y la concentración residual de cloro libre en el agua, tras un periodo específico de contacto. El punto ruptura en esta curva indica el momento en que la dosis de cloro es suficiente para desinfectar el agua por completo, sin exceder la cantidad necesaria y evitando que los residuos de cloro puedan resultar nocivos para la salud (Shamrukh y Hassan, 2005).

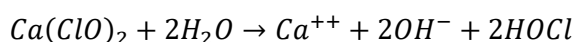
**Tabla 6**  
*Límites máximos permisibles (LMP) de cloro residual*

LMP en mg/l	Entidad	Referencia
0,2-0,5	Organización Mundial de la Salud	OMS (2018)
0,5 - 5	Ministerio de Salud	DIGESA (2011)

### 2.2.3.3. Hipoclorito de calcio

El hipoclorito de calcio es un compuesto inorgánico cuya fórmula química es  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ . Usualmente se presenta como un polvo blanco o ligeramente amarillento, y se emplea de manera común como desinfectante en diversas áreas, como el tratamiento de agua, el mantenimiento de piscinas y en procesos de saneamiento (Yigit et al., 2009).

También se le conoce comúnmente como HTH o perclorón, y se presenta en diversas formas, como polvo con una concentración de entre 20 y 35%, así como en gránulos y tabletas con concentraciones que van del 5% al 70%. Este compuesto tiene una notable estabilidad a lo largo del tiempo, perdiendo entre un 2% y un 2,5% de su efectividad cada año, además se emplea una dosis para desinfectar el agua que va desde los 0,5 ppm hasta los 5 ppm. Sin embargo, es importante tener en cuenta que es corrosivo e inflamable cuando entra en contacto con materiales ácidos (Solsona y Méndez, 2002).

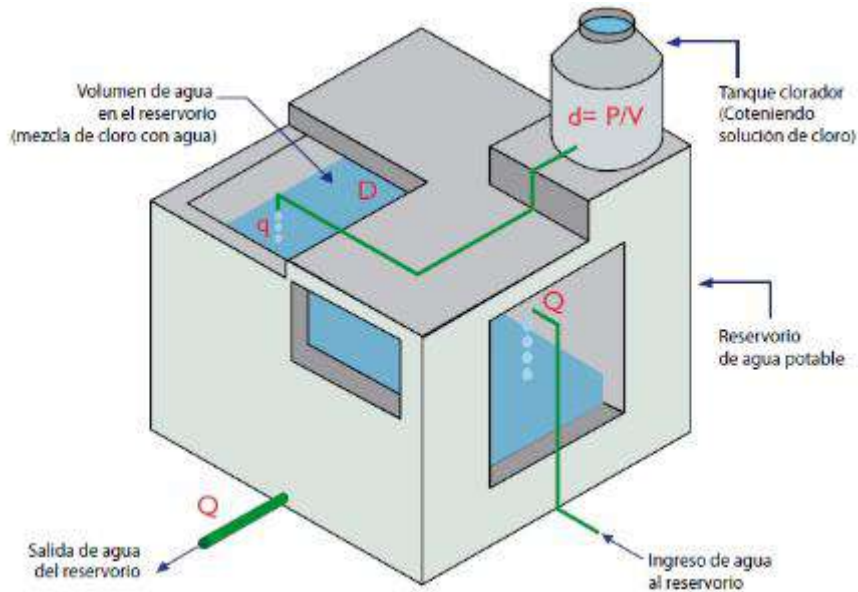


La ecuación demuestra que, al agregar hipoclorito de calcio al agua, se genera ácido hipocloroso, lo que provoca una disminución en el pH del agua.

Además, según Solsona y Méndez (2002) en áreas rurales, es fundamental evaluar la capacidad técnica disponible para implementar un desinfectante específico. Esto se debe a que el manejo y operación de sistemas de cloración con cloro gaseoso demandan personal capacitado, algo que resulta difícil de encontrar en estas zonas.

### 2.2.3.4. Sistema de cloración por goteo

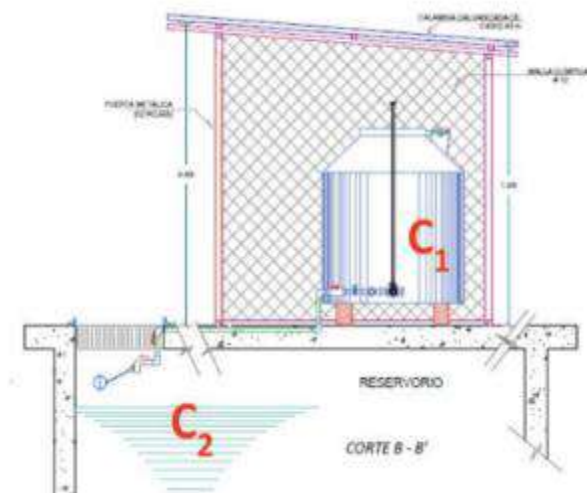
Se trata de un sistema compuesto por diversos mecanismos y estructuras, diseñados para trasladar el cloro desde el tanque de solución madre hasta el reservorio, el cual ha sido especialmente concebido para áreas rurales, ya que no depende de electricidad para su operatividad (Pacheco et al., 2018). Asimismo, existen diversas tecnologías para la cloración, entre las cuales se destacan las siguientes: el hipoclorador de carga constante con doble recipiente, el hipoclorador con flotador y el hipoclorador de carga constante con un solo recipiente, entre otros (MVCS, 2016).



**Figura 2**  
*Tecnología de cloración por goteo en zonas rurales.*  
 Fuente: Tomado de Fustamante (2017).

### 2.2.3.5. Cálculo de la dosis óptima

Para determinar la dosis óptima de desinfectante en un sistema de cloración por goteo que utiliza hipoclorito de calcio, se emplea la metodología recomendada por COSUDE (2018):



**Figura 3**  
*Esquema de dosificación de hipoclorito de calcio.*  
 Fuente: Tomado de COSUDE (2018).

1. Cálculo de la cantidad de cloro: 
$$P = \frac{Q * T * C_2}{10 * \%Cl}$$

En la cual:

Q = Caudal de ingreso al reservorio (L/s).

%Cl = Porcentaje de hipoclorito de calcio (65-70%).

T = Frecuencia de recarga en días.

C<sub>2</sub> = Concentración promedio en el reservorio: 1,5 mg/l.

P = masa de desinfectante (gramos).

2. Cálculo la cantidad mínima para la disolución:  $V_{min} = \frac{\%Cl * 10 * P}{C_{max}}$

V<sub>min</sub> = Volumen mínimo para la disolución.

P = masa de desinfectante (gramos).

C<sub>max</sub> = Concentración máxima = 5 000 mg/l.

%Cl = Porcentaje de hipoclorito de calcio (65-70%).

3. Chequeo de la concentración máxima:  $C_1 = \frac{10 * P * \%Cl}{V_d}$ ;  $C_1 \leq 5000 mg/l$

P = masa de desinfectante (gramos).

%Cl = Porcentaje de hipoclorito de calcio (65-70%).

V<sub>d</sub> = Volumen de solución madre (l).

4. Flujo del goteo en mL/min:  $Q_g = \frac{V_d}{1,44 * T}$

Q<sub>g</sub> = Flujo de goteo en mL/min. (recomendado es a partir de 45 ml/min)

T = Frecuencia de recarga en días.

V<sub>d</sub> = Volumen de solución madre (l).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ámbito y condiciones de la investigación**

##### **3.1.1. Contexto de la investigación**

###### **3.1.1.1. Ubicación política**

- Departamento: San Martín
- Provincia: Moyobamba
- Distrito: Soritor
- Centro poblado: Vista Alegre

###### **3.1.1.2. Ubicación geográfica**

El centro poblado Vista Alegre, se localiza en el punto referencial 18M, coordenada este 271942, coordenada norte 9315059 y altitud de 946 metros sobre el nivel del mar, en la longitud 77°03'39.62081" y latitud 6°11'33.44680" (Anexo 1).

##### **3.1.2. Periodo de ejecución**

La presente investigación tuvo un periodo de ejecución de 8 meses comprendidos desde el 02 – 11 – 2022 al 02 – 07 – 2023.

##### **3.1.3. Autorizaciones y permisos**

Se tramitó mediante documento el permiso correspondiente al Área Técnica Municipal (ATM) del distrito de Soritor para poder ejecutar la tesis en el sistema de agua potable del centro poblado Vista Alegre. Asimismo, a la junta administradora de servicios de saneamiento (JASS) de dicho centro poblado se solicitó el permiso de manera verbal para poder realizar las actividades de ejecución del proyecto de investigación.

##### **3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad**

Se adoptaron estrictas medidas de bioseguridad para salvaguardar tanto la salud de las personas (tesista y personal de la Junta Administradora de Servicio de Saneamiento) y la calidad de las muestras de agua recolectadas. Entre los equipos utilizados destacaron el casco, guantes y mascarilla, fundamentales para garantizar la protección durante el proceso. Asimismo, se prestó especial atención al manejo responsable de los residuos generados, utilizando bolsas plásticas o recipientes adecuados para su almacenamiento temporal, con el compromiso de disponer de ellos posteriormente en lugares designados para evitar cualquier impacto negativo en el entorno.

### 3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

El investigador afirma haber cumplido con los principios éticos fundamentales en cada etapa de su trabajo, asegurando un proceso riguroso y respetuoso en la recopilación de información. Se reconoció de forma adecuada y responsable a los autores originales de los contenidos utilizados, garantizando la correcta citación de sus aportes. Asimismo, se valoró y agradeció la colaboración de todo el equipo que, de alguna manera, contribuyó al logro de los objetivos y a la obtención de datos significativos. Además, se mantuvo un enfoque consciente y respetuoso hacia el entorno natural, procurando minimizar cualquier impacto ambiental derivado de las actividades realizadas durante el desarrollo de la investigación.

## 3.2. Sistema de variables

### 3.2.1. Variables principales

**Variable independiente (X):** Demanda óptima de agua.

**Variable dependiente (Y):** Consumo de hipoclorito de calcio.

**Tabla 7**

*Descripción de variables por objetivo específico*

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Objetivo específico Nº 1: Determinar la demanda óptima de agua en el centro poblado Vista Alegre.			
Consumo de agua	Demanda óptima de agua	Ficha de recolección de datos y memoria de cálculo	l/s
Objetivo específico Nº 2: Evaluar la dosis óptima de hipoclorito de calcio.			
Dosis óptima de hipoclorito de calcio	- Hipoclorito de calcio - Cloro residual	Ficha de recolección de datos de campo	- kg/aplicación - mg/l
Objetivo específico Nº 3: Realizar una propuesta de la cantidad óptima de desinfectante que se debe agregar al agua.			
Cantidad de desinfectante	Hipoclorito de calcio	Propuesta técnica	kg/aplicación
Objetivo general: Evaluar la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio			
Demanda óptima de agua y consumo de hipoclorito de calcio	Coefficiente correlación de Pearson.	p valor	Adimensional

### **3.3. Procedimientos de la investigación**

#### **3.3.1. Diseño analítico, muestral y experimental**

##### **a) Diseño experimental o muestral**

El diseño adoptado fue de tipo no experimental, dado que en el desarrollo de la investigación no se introdujeron estímulos ni se establecieron condiciones experimentales como parte de la metodología. Esto significa que las variables analizadas se observaron y analizaron tal como se presentaban en su contexto natural, sin ser alteradas o manipuladas de manera deliberada (Arias et al., 2022). Asimismo, fue de corte transversal, lo que significa que se realizó en un único punto en el tiempo, capturando información específica sin que el investigador interviniera directamente en las variables observadas (Romero et al., 2021).

##### **b) Representación de la información**

La información recopilada, tanto de fuentes bibliográficas como de datos obtenidos en el trabajo de campo, fue organizada y representada de manera clara y estructurada utilizando tablas y gráficos estadísticos. Estas herramientas visuales facilitaron no solo la presentación de los hallazgos, sino también su interpretación y análisis, permitiendo identificar patrones, relaciones y tendencias relevantes. Además, la representación gráfica buscó hacer los resultados más accesibles y comprensibles para diversos públicos, favoreciendo una comunicación efectiva de los aspectos más importantes del estudio.

##### **c) Diseño analítico**

En primera instancia, se utilizó estadística descriptiva para estructurar y resumir la información obtenida, calculando medidas de dispersión como la media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación en las concentraciones de cloro medidas en puntos específicos de monitoreo: el reservorio, la primera vivienda y la última vivienda. Estos cálculos se aplicaron tanto a la dosificación utilizada por la junta administradora de servicios de saneamiento (JASS) como a la dosificación propuesta por el investigador. Posteriormente, se recurrió a estadística inferencial para analizar la influencia entre la demanda óptima de agua y el consumo de hipoclorito de calcio. Como primer paso, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, adecuada debido a que los datos eran menores a 50 registros. Según los resultados, se empleó la prueba de correlación de Pearson o el Rho de Spearman, según correspondiera al caso. Los cálculos fueron realizados utilizando los programas SPSS Statistics y Excel, herramientas que facilitaron una evaluación precisa y confiable de los resultados obtenidos.

### 3.3.2. Determinar la demanda óptima de agua en el centro poblado

#### a) Actividades y tareas

- Selección del sitio.
- Recolección de datos demográficos.
- Cálculo de la tasa de crecimiento.
- Cálculo de la demanda de agua.

#### b) Descripción de los procedimientos

##### - Selección del sitio

El sitio seleccionado para llevar a cabo la investigación fue el Centro Poblado Vista Alegre, ubicado en la provincia de Soritor, departamento de San Martín. La elección de este sitio se realizó con base en la necesidad de optimizar el proceso de cloración en la red de distribución de agua potable de la comunidad, con el fin de garantizar la calidad del agua suministrada a los usuarios.

Se establecieron las coordenadas geográficas de los puntos clave del sistema de distribución de agua, que incluyen la captación, la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), el reservorio y el propio centro poblado Vista Alegre. Estos puntos fueron localizados utilizando un GPS.

##### - Recolección de datos demográficos

Se recopiló información sobre la población del centro poblado Vista Alegre, utilizando los censos realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en 1993, 2007 y 2017, complementados con los datos de los años 2021-2023 obtenidos del padrón de usuarios de agua de la JASS. Además, se consideraron antecedentes y estudios previos relacionados, los cuales fueron clave para estimar la demanda de agua en función del número de habitantes, viviendas, instituciones educativas y otras entidades conectadas al sistema, asegurando así un análisis integral y contextualizado de las necesidades de la población.

##### - Cálculo de la tasa de crecimiento

Con la información recolectada de los años 2007, 2017 y 2023 se calculó la tasa de crecimiento en función a la siguiente fórmula propuesta por Vierendel (2009):

$$\frac{P_f - P_i}{P_i(t_f - t_i)} = r$$

Dónde:

Pf = Población futura

Pi = Población inicial

r = Tasa de crecimiento anual

T<sub>f</sub> = tiempo final

T<sub>i</sub> = tiempo inicial

#### - **Cálculo de la demanda de agua**

Luego, utilizando los datos demográficos, se calcularon los consumos de agua para uso doméstico, escolar e institucional. Estos cálculos se realizaron aplicando los siguientes parámetros:

- Dotación domiciliaria (l/hab/día).
  - Dotación escolar (l/alumno/día).
  - Dotación para otros locales (l/local/día).
  - Pérdidas físicas del sistema (se asume 20% de acuerdo a la bibliografía recolectada).
- Luego, se procedió a aplicar el factor  $k_1 = 1,3$  sobre la demanda promedio total, con el objetivo de obtener la demanda óptima de agua.

### 3.3.3. **Evaluar la dosis óptima de hipoclorito de calcio**

#### **a) Actividades y tareas**

- Análisis del sistema de cloración actual.
- Muestreos de cloro residual.
- Comparación del cloro residual por normativas.
- Análisis del decaimiento del cloro.
- Cálculo de la dosis óptima.

#### **b) Descripción de los procedimientos**

##### **- Análisis del sistema de cloración actual**

Se realizó una revisión técnica del sistema de cloración vigente en el centro poblado Vista Alegre. Se identificaron parámetros clave del sistema, como:

- Capacidad del reservorio.
- Frecuencia de dosificación.
- Método de aplicación.

### - Muestreos de cloro residual

Para evaluar la efectividad de la dosificación de hipoclorito de calcio, se realizaron tres muestreos en diferentes puntos del sistema (reservorio, primera casa abastecida y última casa abastecida). Estos muestreos se llevaron a cabo en tres fechas diferentes:

**Tabla 8**

*Fechas de muestreo de cloro residual sin la propuesta de dosificación*

Fecha	Punto de Muestreo
07/04/2023	Reservorio, primera casa, última casa
14/04/2023	Reservorio, primera casa, última casa
21/04/2023	Reservorio, primera casa, última casa

Para las mediciones de cloro residual se empleó un comparador colorimétrico portátil específico para análisis de cloro libre y cloro total en agua potable, siguiendo los procedimientos establecidos en la normativa peruana “Resolución Directoral N°160-2015/DIGESA/SA”. Luego, se realizó el cálculo de medidas de dispersión por cada punto de muestreo para ver la variabilidad de los resultados obtenidos.

### - Comparación del cloro residual por normativas

Los resultados de cloro residual de cada punto de monitoreo se compararon con lo establecido por la OMS, MINSA y las especificaciones de la tecnología de cloración:

**Tabla 9**

*Comparación de la concentración de cloro residual*

LMP en mg/l	Entidad	Referencia
0,2-0,5	Organización Mundial de la Salud	OMS (2018)
0,5 - 5	Ministerio de Salud	DIGESA (2011)
Reservorio (1 a 1,5 mg/l) Red de distribución (0,5 a 1 mg/l)	Tecnología de cloración por goteo	COSUDE (2018)

### - Análisis del decaimiento del cloro

Se aplicó un método comparativo para calcular el decaimiento del cloro en el sistema de distribución. Este análisis se realizó mediante la diferencia entre las concentraciones de cloro residual en el reservorio y las viviendas (primera y última casa). La fórmula utilizada fue la siguiente.

$$\text{Decaimiento (\%)} = \frac{\text{Cloro Inicial} - \text{Cloro Final}}{\text{Cloro Inicial}} \times 100$$

Este procedimiento permitió cuantificar la pérdida de cloro a medida que el agua avanzaba por la red de distribución.

- **Cálculo de la dosis óptima**

Utilizando la demanda óptima de agua obtenida en el objetivo 1, se calculó la dosis de hipoclorito de calcio necesaria para mantener una concentración de 1,5 mg/l de cloro residual en el reservorio, para lo cual se empleó los cuatro pasos propuestos por COSUDE (2018) descrito en los fundamentos teóricos.

**3.3.4. Realizar una propuesta de la cantidad óptima de desinfectante que se debe agregar al agua**

**a) Actividades y tareas**

- Ajuste de la dosis.
- Desarrollo de un plan de dosificación.
- Cronograma de implementación.
- Instalación de válvula en línea de conducción.
- Monitoreo de cloro residual.
- Comparación del cloro residual por normativas.

**b) Descripción de los procedimientos**

- **Ajuste de la dosis**

Se realizó un ajuste en la dosis de cloro, adaptándola a la demanda de agua para el año 2023. Este ajuste se basó en el caudal necesario, que fue calculado tomando en cuenta diversos factores como la cantidad de habitantes, las pérdidas físicas en el sistema de distribución, las instituciones educativas y otros elementos relevantes. Este proceso permitió una mejor estimación de la cantidad de cloro requerido para garantizar la calidad del agua, considerando tanto el consumo habitual de la población como las necesidades específicas de los diversos usuarios, asegurando así un abastecimiento adecuado y seguro.

- **Desarrollo de un plan de dosificación**

Se diseñó un plan detallado de dosificación, que incluyó:

- Frecuencia de dosificación: Se propuso aplicar la dosis ajustada, asegurando un monitoreo continuo de las concentraciones de cloro en los puntos críticos del sistema.
- Preparación de la solución de hipoclorito: Se estableció un protocolo para la preparación de la solución madre, garantizando una disolución homogénea y una aplicación uniforme en el reservorio.

- **Cronograma de implementación**

Se elaboró un cronograma por fases, el cual incluyó actividades como la capacitación del personal, el monitoreo intensivo de los niveles de cloro residual y los ajustes operativos según los resultados obtenidos en campo.

- **Instalación de válvula en línea de conducción**

Se instaló una válvula de paso de PVC con un diámetro de 2” en la línea de conducción, antes de llegar al reservorio, con el objetivo de regular el ingreso de agua, permitiendo solo el caudal estimado para el año 2024. Esta medida se tomó para asegurar que el flujo de agua que llega al reservorio se ajuste a los cálculos previamente establecidos. Posteriormente, se llevó a cabo un aforo en el reservorio con el fin de verificar que el caudal de agua ingresado fuera el adecuado. Es importante señalar que la válvula no fue completamente cerrada, sino que se ajustó parcialmente para garantizar un flujo controlado y eficiente.

- **Monitoreo de cloro residual**

Para evaluar la efectividad de la dosificación de hipoclorito de calcio, se realizaron tres muestreos en diferentes puntos del sistema (reservorio, primera casa abastecida y última casa abastecida). Estos muestreos se llevaron a cabo en tres fechas diferentes:

**Tabla 10**

*Fechas de muestreo de cloro residual con la propuesta de dosificación*

<b>Fecha</b>	<b>Punto de Muestreo</b>
09/06/2023	Reservorio, primera casa, última casa
16/06/2023	Reservorio, primera casa, última casa
23/06/2023	Reservorio, primera casa, última casa

Para las mediciones de cloro residual se empleó un comparador colorimétrico portátil específico para análisis de cloro libre y cloro total en agua potable, siguiendo los procedimientos establecidos en la normativa peruana “Resolución Directoral N°160-2015/DIGESA/SA”. Luego, se realizó el cálculo de medidas de dispersión por cada punto de muestreo para ver la variabilidad de los resultados obtenidos.

- **Comparación del cloro residual por normativas**

Los resultados de cloro residual de cada punto de monitoreo fueron comparados con lo establecido por la OMS, MINSA y las especificaciones de la tecnología de cloración estipulado en la tabla 9.

**3.3.5. Evaluar la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio**

**a) Actividades y tareas**

- Prueba de normalidad.

- Aplicación de estadística inferencial.

## **b) Descripción de los procedimientos**

### **- Prueba de normalidad**

Se utilizó el software estadístico SPSS Statistics para identificar la prueba de correlación más adecuada para el conjunto de datos. En este análisis, se tomará en cuenta el supuesto de normalidad de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia del 5%, el cual está relacionado directamente con el tamaño muestral. Este método garantizó que se elija la prueba estadística correcta, asegurando así la validez y fiabilidad de los resultados derivados del análisis.

### **- Aplicación de estadística inferencial**

Luego, de acuerdo a los resultados de la prueba de normalidad se empleó la prueba estadística de Pearson para analizar la influencia existente entre las variables. El análisis se ejecutó a través del software SPSS Statistics, considerando un nivel de significancia del 5%, lo cual permitió establecer si los resultados son lo suficientemente sólidos para confirmar o rechazar la hipótesis planteada.

Hipótesis:

H0: La demanda óptima de agua no influye significativamente en el consumo de hipoclorito de calcio.

H1: La demanda óptima de agua si influye significativamente en el consumo de hipoclorito de calcio.

La decisión estadística se sustentó en:

Rechazar H0 cuando p-valor < 0,05 y aceptar H0 cuando p-valor > 0,05.

Finalmente, se realizó un análisis de regresión simple de las variables estudiadas para determinar la proporción de la variabilidad de la variable dependiente (Y) que puede ser explicada por la variable independiente (X).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Demanda óptima de agua en el centro poblado Vista Alegre

El sistema de agua del centro poblado Vista Alegre opera bajo un sistema por gravedad con tratamiento (SGCT), lo que implica la existencia de una captación, una línea de conducción, una planta para el tratamiento de agua potable, un reservorio, una línea de aducción y una red de distribución. Seguidamente, se exponen las coordenadas geográficas correspondientes a los principales componentes:

**Tabla 11**

*Coordenadas del sistema de agua potable*

Punto	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m.)
Captación	274128	9314768	1230
PTAP	272840	9314556	1125
Reservorio	272832	9314546	1124
Centro poblado Vista Alegre	271890	9315112	946

**Tabla 12**

*Datos poblacionales del centro poblado Vista Alegre*

Año	Población	Viviendas	Densidad (hab/viv)	Fuente
1993	151	33	4,58	INEI
2007	254	55	4,62	INEI
2017	145	38	3,82	INEI
2021	186	58	3,21	JASS
2022	189	59	3,20	JASS
2023	192	61	3,15	JASS

La tabla 10 exhibe las estadísticas demográficas recopiladas mediante los censos nacionales ejecutados por el INEI durante los años 1993, 2007 y 2017. Adicionalmente, incorpora información sobre el número de habitantes correspondiente al periodo 2021-2023, datos obtenidos por la JASS tras una minuciosa revisión de su registro de usuarios del servicio hídrico.

**Tabla 13**

*Tasa de crecimiento aritmético*

Período	Tasa calculada (%)	Tasa asumida (%)	Tasa promedio (%)
1993-2007	4,87	4,87	2,43
2007-2017	-4,29	0	
2021-2022	1,61	1,61	1,60
2022-2023	1,59	1,59	

Considerando los índices de crecimiento presentados en la tabla 13, se selecciona el promedio más bajo, correspondiente al 1,60% de acuerdo al crecimiento que evidencia el centro poblado. Este valor constituye un elemento fundamental para estimar la proyección del consumo hídrico necesario a futuro.

**Tabla 14**  
*Parámetros de demanda de agua potable (2021-2023)*

<b>Parámetro</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
Cobertura de agua	100%	100%	100%
Viviendas con conexión	58	59	61
Instituciones educativas	1	1	1
Otras instituciones (2 iglesias, local comunal y JASS)	4	4	4
Alumnos en inicial	15	16	11
Alumnos en primaria	28	35	20
Dotación domiciliaria (l/hab.día)	100	100	100
Dotación escolar (l/alumno.día)	20	20	20
Dotación otros locales (l/local.día)	500	500	500
Pérdidas físicas	20%	20%	20%

Utilizando los datos poblacionales y los parámetros técnicos, se calculó la demanda de agua potable para cada año.

**Tabla 15**  
*Demanda de agua potable en el centro poblado Vista Alegre (2021-2023)*

<b>Componente</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
Consumo doméstico (l/s)	0,215	0,219	0,222
Consumo escolar (l/s)	0,010	0,012	0,007
Consumo otros locales (l/s)	0,023	0,023	0,023
Consumo total (l/s)	0,248	0,254	0,252
Pérdidas físicas (l/s)	0,050	0,051	0,050
Demanda promedio total (l/s)	0,298	0,305	0,302

Para determinar la demanda óptima de agua, se aplicó el factor de máximo diario ( $k_1 = 1,3$ ) a la demanda promedio total. La tabla 14 presenta los resultados de este cálculo.

**Tabla 16**  
*Demanda óptima de agua (caudal máximo diario)*

<b>Año</b>	<b>Demanda promedio total (l/s)</b>	<b>Factor <math>k_1</math></b>	<b>Demanda óptima (l/s)</b>
2021	0,298	1,3	0,387
2022	0,305	1,3	0,397
2023	0,302	1,3	0,393

**Tabla 17**  
*Proyección de la demanda óptima de agua*

Año	Hab.	Alumnos I.E. inicial	Alumnos I.E. primaria	Otros locales	%pérdidas	k <sub>1</sub>	Demanda óptima de agua (l/s)
2024	196	25	40	4	20%	1,3	0,413
2025	199	25	40	4	20%	1,3	0,419
2026	202	25	40	4	20%	1,3	0,424
2027	205	25	40	4	20%	1,3	0,430
2028	208	25	40	4	20%	1,3	0,435
2029	211	25	40	4	20%	1,3	0,441
2030	214	25	40	4	20%	1,3	0,446

La tabla 17 presenta la proyección de la demanda óptima de agua para el periodo 2024-2030, donde se observa un incremento progresivo de la población desde 196 hasta 214 habitantes. Durante este intervalo, la cantidad de alumnos en las instituciones educativas se asumieron una cantidad de 25 estudiantes en el nivel inicial y 40 en primaria, así como 4 locales adicionales. El sistema contempla un porcentaje de pérdidas del 20% y un coeficiente k<sub>1</sub> de 1,3, lo que resulta en una demanda óptima de agua que aumenta gradualmente desde 0,413 l/s en 2024 hasta alcanzar 0,446 l/s en 2030.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el primer objetivo específico, se determinó que la demanda óptima de agua (Q<sub>md</sub>) para el año 2023 fue de 0,393 l/s, incrementándose a 0,413 l/s para 2024. Este último cálculo se realizó considerando una tasa de crecimiento poblacional aritmético del 1,60%, una dotación diaria de 100 litros por habitante y un porcentaje estimado de pérdidas por fugas equivalente al 20%. Además, se aplicó un coeficiente de variación diaria (k<sub>1</sub>) de 1,3, lo que permitió ajustar el caudal y contemplar las fluctuaciones en el consumo.

De forma similar, Reyes (2024) estimó una población de 284 habitantes mediante encuestas, con una tasa de crecimiento anual del 0,015%. Utilizando una dotación diaria de 100 litros por habitante y considerando un 20% de pérdidas por fugas, determinó un caudal promedio (Q<sub>p</sub>) de 0,39 l/s y un caudal máximo diario (Q<sub>md</sub>), correspondiente al ingreso al reservorio, de 0,51 l/s. Para estos cálculos, empleó un coeficiente de variación diaria k<sub>1</sub> igual a 1,3.

Asimismo, Galindo (2021), con base en datos censales del INEI de 2007 y 2017, proyectó una población de 265 habitantes para el año 2041, utilizando una tasa de crecimiento anual del 0,187%. Considerando un 25% de pérdidas por fugas, obtuvo un consumo promedio (Q<sub>p</sub>) de 0,41 l/s y un caudal máximo diario (Q<sub>md</sub>) de 0,55 l/s,

utilizando un factor de variación  $k_1$  de 1,3, de acuerdo con el reglamento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

En contraste, Guachamín (2021) empleó una tasa de crecimiento geométrico de 0,081%, lo que le permitió proyectar una población de 389 habitantes. Además, utilizó un coeficiente de variación  $k_1$  igual a 1,25 y determinó un caudal máximo diario de 0,68 l/s. Estos resultados reflejan cómo las metodologías empleadas y los parámetros seleccionados influyen en las proyecciones, resaltando la importancia de utilizar supuestos bien fundamentados para planificar sistemas de abastecimiento hídrico eficaces y sostenibles.

#### 4.2. Dosis óptima de hipoclorito de calcio

El reservorio de agua del centro poblado es una estructura de concreto de forma circular con una capacidad de almacenamiento de 15 m<sup>3</sup>, un diámetro de 3,1 metros y un tirante de agua de 2 metros. Este reservorio se alimenta con el caudal proveniente de la planta de tratamiento, conducido a través de una tubería de 2 pulgadas. Asimismo, se detallan aspectos relevantes del reservorio en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Datos del reservorio*

Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad del reservorio	15	m <sup>3</sup>
Población atendida	192	Habitantes
Diámetro de tubería de ingreso	2	Pulgadas
Diámetro de tubería salida	2,5	Pulgadas
Diámetro de tubería de limpia	4	Pulgadas
Diámetro de tubería de rebose	4	Pulgadas
Caudal de ingreso	1	l/s

La siguiente tabla detalla los aspectos operativos específicos del proceso de cloración actual:

**Tabla 19**

*Especificaciones del sistema de dosificación*

Parámetros	Especificación	Observación
Tipo de sistema	Sistema de cloración por goteo	Autocompensante
Tanque se solución madre	600 litros	Rotoplas azul
Tipo de desinfectante	Hipoclorito de calcio	70% concentración
Dosis aplicada	1,6	kg/aplicación
Frecuencia de aplicación	Variable	No sistematizada
Método de aplicación	Manual	Solución madre
Sistema de control	Visual	No instrumentado
Caudal de goteo	60 ml/min	Cálculo por medición

El sistema de cloración actual es por goteo autocompensate y de manejo completamente manual, sin incorporar automatización ni mecanismos de control sistematizado. Esta carencia de tecnología y supervisión automática depende exclusivamente de la intervención humana, lo que incrementa la posibilidad de errores operativos. La variabilidad registrada en la frecuencia de aplicación, sumada a la falta de instrumentación adecuada, evidencia un elevado riesgo de inconsistencias en la dosificación, lo que afecta tanto la eficiencia del sistema como la calidad del agua tratada.

**Tabla 20**

*Primer monitoreo de cloro residual*

Muestreo	Punto de muestreo	Cloro residual (mg/l)
1	Reservorio	0,29
	Primera casa	0,20
	Última casa	0,11
2	Reservorio	0,29
	Primera casa	0,10
	Última casa	0,08
3	Reservorio	2,43
	Primera casa	0,89
	Última casa	0,86

Los resultados obtenidos han reflejado una marcada variabilidad en las concentraciones de cloro residual durante los muestreos realizados. En las primeras dos mediciones, correspondientes al 7 y 14 de abril, se ha identificado una subdosificación evidente. Por el contrario, en la tercera medición, efectuada el 21 de abril, se ha registrado una sobredosificación en el reservorio, lo que demuestra una falta de uniformidad en la aplicación del cloro o en los procedimientos operativos. Esta disparidad en las concentraciones sugiere que se requiere implementar medidas correctivas, como la automatización del proceso de dosificación, una supervisión más estricta o la calibración periódica de los equipos, con el propósito de asegurar una distribución uniforme y segura del cloro residual en todo el sistema de abastecimiento.

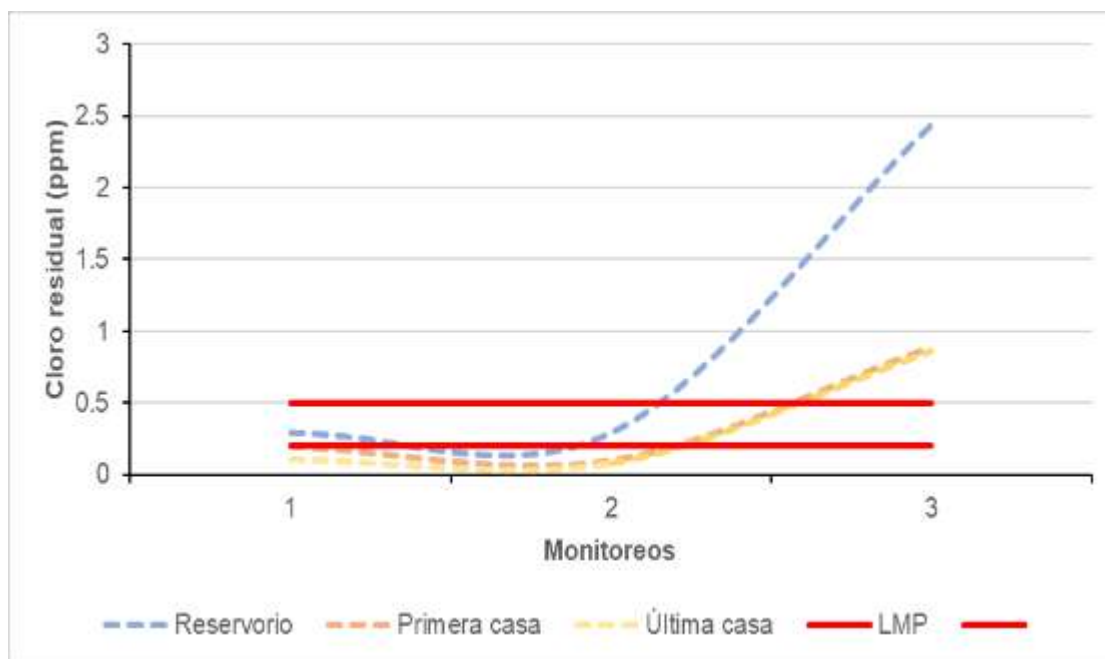
Para cuantificar la variabilidad del proceso, se realizó un análisis estadístico descriptivo:

**Tabla 21**

*Análisis estadístico para cada punto de muestreo en el primer monitoreo*

Punto de muestreo	Media (mg/l)	Varianza	Desviación estándar	CV (%)
Reservorio	1,003	1,530	1,236	123,23
Primera casa	0,397	0,190	0,431	108,56
Última casa	0,350	0,195	0,443	126,57

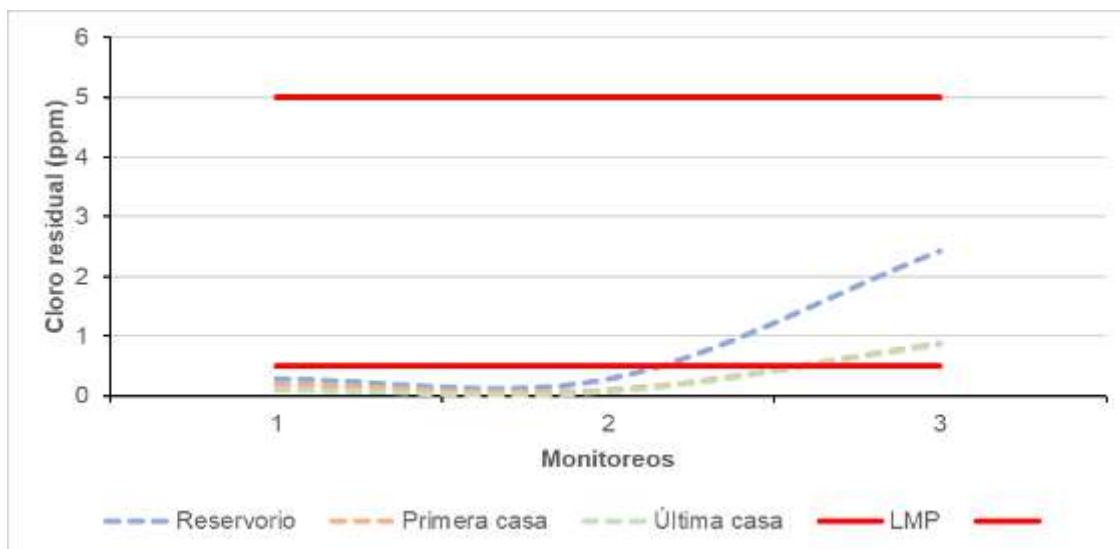
Los coeficientes de variación, han superado el 100% en todos los puntos de muestreo, revelando una notable falta de consistencia y control en el proceso de dosificación del cloro. Estos elevados valores indican que las concentraciones de cloro residual han fluctuado considerablemente entre las mediciones, lo que ha sugerido una variabilidad significativa en la aplicación del producto químico. En particular, la desviación estándar especialmente alta registrada en el reservorio ha reforzado la idea de que la dosificación del cloro ha sido inconsistente y carece de un adecuado mecanismo de regulación.



**Figura 4**

*Límites máximo permisibles para cloro residual según la OMS.*

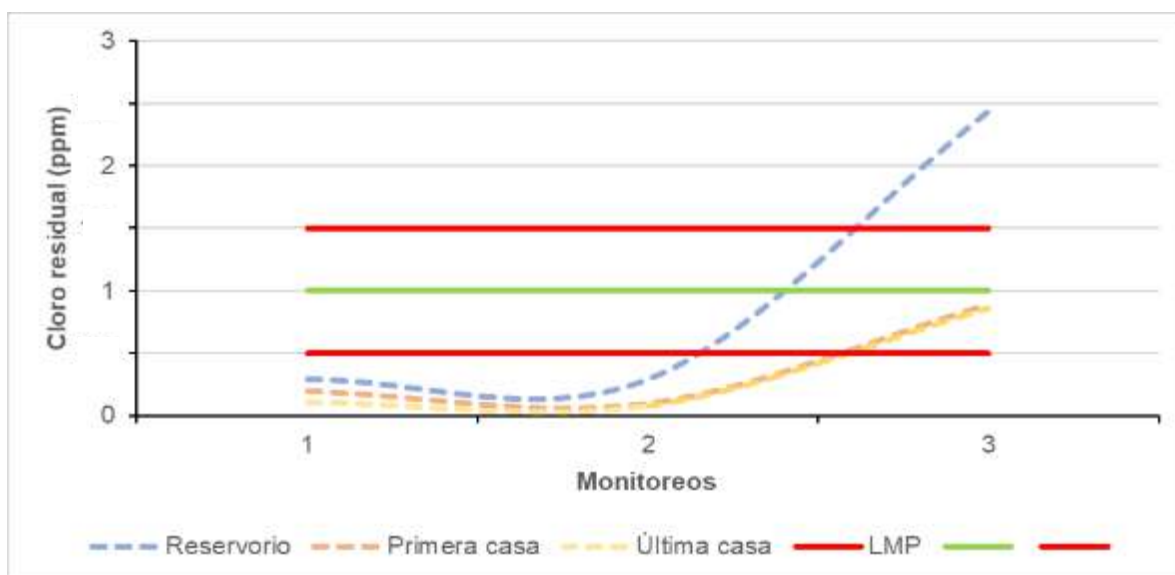
La figura 4 muestra los límites de concentración de cloro residual, los cuales deben mantenerse entre 0,2 y 0,5 mg/l. En los primeros dos muestreos, el reservorio cumple con esta normativa, registrando una concentración de 0,29 mg/l, asimismo, en el primer monitoreo también cumple la primera casa con un valor de 0,2 mg/l. Sin embargo, en el tercer monitoreo, ninguno de los puntos de muestreo alcanza los niveles establecidos, lo que indica una cloración insuficiente del agua potable. Este resultado sugiere la posible presencia de sustancias perjudiciales para la salud, evidenciando una deficiencia en el proceso de tratamiento del agua.



**Figura 5**

*Límites máximo permisibles para cloro residual según DIGESA.*

La figura 5 presenta los resultados de cloro residual obtenidos en los tres puntos de muestreo, comparándolos con los límites establecidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano de DIGESA, que establece un rango entre 0,5 mg/l y 5 mg/l. En este sentido, únicamente en el tercer monitoreo, se observa que el reservorio, la primera casa y la última casa cumplen con los valores estipulados, registrando concentraciones de 2,43 mg/l, 0,89 mg/l y 0,86 mg/l, respectivamente.



**Figura 6**

*Límites máximo permisibles para cloro residual según la tecnología de cloración por goteo.*

Según la figura 6, ninguno de los monitoreos realizados ha logrado cumplir con los límites de cloro residual establecidos para el reservorio, cuyo rango debe oscilar entre 1 y 1,5 mg/l. Sin embargo, en el tercer monitoreo, tanto la primera como la última casa

han registrado valores de 0,89 mg/l y 0,86 mg/l, respectivamente, cumpliendo con el rango permitido de 0,5 a 1 mg/l en la red de distribución.

**Tabla 22**

*Análisis de decaimiento del cloro por tramo en el primer monitoreo*

Monitoreo	Tramo	CI Inicial (mg/l)	CI Final (mg/l)	Decaimiento (%)
1	R-PC	0,29	0,20	31,03
	PC-UC	0,20	0,11	45,00
2	R-PC	0,29	0,10	65,52
	PC-UC	0,10	0,08	20,00
3	R-PC	2,43	0,89	63,37
	PC-UC	0,89	0,86	3,37

El análisis refleja lo siguiente: en casos de baja dosificación, como el muestreo 1 y 2, hay una caída gradual que termina en concentraciones de cloro insuficientes, quedando por debajo del límite requerido. En contraste, con una dosificación alta (21/04), la caída inicial es bastante pronunciada (63,37%), pero una vez que se alcanza el nivel óptimo, la concentración se mantiene estable con una disminución mínima al final (3,37%).

**Tabla 23**

*Identificación de deficiencias operativas*

Categoría	Deficiencia identificada	Impacto	Observaciones
Dosificación	Diferencias en las concentraciones	Alto	CV > 100%
Control	Ausencia de protocolos	Alto	Sin registros
Infraestructura	Sistema manual básico	Medio	Observación directa
Monitoreo	Falta de puntos de control	Alto	Sin datos sistemáticos

Las deficiencias identificadas muestran un sistema con carencias significativas en control y automatización, lo que resulta en una operación inconsistente y poco confiable.

**Tabla 24**

*Cálculo de la dosis óptima*

Año	Demanda óptima (l/s)	Dosis Óptima de Cloro (g/día)	Tiempo de recarga (días)	Caudal de goteo (ml/min)
2023	0,393	72,76	7	60
2024	0,413	76,46	7	60
2025	0,419	77,57	7	60
2026	0,424	78,50	7	60
2027	0,430	79,61	7	60
2028	0,435	80,54	7	60
2029	0,441	81,65	7	60
2030	0,446	82,57	7	60

Para los años 2023 - 2030, se llevó a cabo el cálculo teórico de la dosis óptima de hipoclorito de calcio, utilizando la fórmula estándar ajustada a la demanda óptima de

agua correspondiente a cada año, descritas en los fundamentos teóricos, para mantener una concentración máxima de 1,5 mg/l en el reservorio. Para estos cálculos, se consideró una concentración del 70% de hipoclorito de calcio, tomando como base la demanda de agua previamente calculada en el objetivo anterior. Los detalles de estos cálculos pueden encontrarse en el anexo 2.

En relación con los hallazgos obtenidos para el segundo objetivo específico, se identificó que la JASS del centro poblado Vista Alegre utilizaba 1,6 kg de hipoclorito de calcio al 70% como agente de cloración para un caudal de ingreso al reservorio de 1 l/s, administrado mediante un sistema de goteo autocompensante conectado a un tanque de solución con una capacidad de 600 litros. Sin embargo, la frecuencia de aplicación no era constante, lo que generaba inconsistencias en la dosificación. En ocasiones, al quedar remanentes de solución clorada en el tanque, simplemente añadían más agua, lo que provocaba una subdosificación del cloro en algunos días y, en contraste, sobredosificaciones al inicio del proceso de recarga. Esta práctica irregular evidencia una gestión inadecuada que afecta la eficacia del tratamiento del agua potable, comprometiendo su calidad y seguridad para el consumo humano.

De manera similar, Dávila (2023) identificó que una junta administradora de agua del distrito de Soritor utilizaba de forma improvisada 5,5 kg de hipoclorito de calcio para un caudal de ingreso al reservorio de 5,5 l/s y un tiempo de recarga de 7 días, lo que generó gastos innecesarios, alteración en el sabor del agua, molestias en la población y una sobredosificación del desinfectante.

Por otro lado, se determinó que en los dos primeros monitoreos no se cumplieron los límites máximos permitidos para la concentración de cloro residual establecidos por DIGESA, los cuales deben encontrarse en un rango de 0,5 mg/l a 5 mg/l. Asimismo, ninguno de los monitoreos realizados alcanzó los valores adecuados de cloro residual en el reservorio según los parámetros recomendados para la tecnología de cloración por goteo, que estipula un rango óptimo de 1 a 1,5 mg/l.

Del mismo modo, Barrientos y Huacan (2021) encontraron que una inadecuada dosificación de hipoclorito de calcio (14,4 kg) resultó insuficiente, pues las concentraciones de cloro residual libre en las tuberías estuvieron por debajo del rango establecido, oscilando entre 0,30 mg/l y 0,40 mg/l. En contraste, Muñoz (2023) al aplicar una dosis óptima de desinfectante los niveles de cloro residual en el reservorio oscilaron entre 1,0 mg/l y 1,5 mg/l, mientras que en los puntos de consumo de los usuarios

variaron entre 0,5 mg/l y 1,0 mg/l, manteniéndose dentro de los rangos establecidos por la normativa.

Finalmente, la dosis óptima calculada para un caudal de 0,393 l/s en el año 2023 fue 509,32 kg de hipoclorito de calcio al 70% con un tiempo de recarga de 7 días y un caudal de goteo de 60 mL/min. En cambio, Benítez (2021) para un caudal de ingreso al reservorio de 2,5 l/s, empleó 3,2 kg del compuesto durante un periodo de siete días, con una dosificación continua de 98 ml/min. Asimismo, Muñoz (2023) para un caudal de ingreso al reservorio de 0,9 l/s y un periodo de recarga de 7 días, se utilizó hipoclorito de calcio al 70%, con un consumo aproximado de 1,17 kg del desinfectante y un caudal de goteo regulado a 60 ml/min.

#### 4.3. Cantidad óptima de desinfectante que se debe agregar al agua

**Tabla 25**

*Parámetros de dosificación propuesta*

Parámetro	Valor	Justificación
Dosis hipoclorito	0,54 kg	Reducción del 66,25% en el uso del desinfectante
Frecuencia	7 días	Mayor control y compensación por factores ambientales
Volumen solución madre	600 l	Mantener infraestructura existente
Concentración hipoclorito	70 %	Pureza del producto
Caudal sistema	0,413 l/s	Demanda proyectada para 2024

Basándose en los resultados obtenidos del análisis de demanda óptima de agua para el año 2024, se estableció una dosificación precisa de hipoclorito de calcio al 70%. Esta consiste en la aplicación de 0,54 kg del compuesto, el cual debe renovarse semanalmente en una solución madre que mantiene un volumen constante de 600 litros.

**Tabla 26**

*Cálculos detallados del sistema*

Parámetro	Cálculo	Resultado
Volumen diario procesado	$Q \times 86\ 400$	35 683,20 l/día
Caudal de goteo	$600L / (7d \times 24h \times 60min)$	60 ml/min
Volumen horario	$(60 \times 60) / 1000$	3,60 l/h
Dosis diaria promedio	$76,46\ kg / 7\ días$	0,54 kg/ 7 días

Los cálculos indican que para tratar un volumen diario de 35 683,20 l se requiere un caudal de goteo preciso de 60 ml/min. Este caudal es importante para asegurar que la solución madre dure exactamente los 7 días propuestos y mantenga una dosificación uniforme.

La implementación de un protocolo meticuloso en la elaboración de la solución de hipoclorito resulta esencial para asegurar una óptima desinfección. La metodología propuesta contempla diversos factores cruciales, que abarcan desde las medidas preventivas de protección hasta la exactitud en el suministro y el monitoreo riguroso durante cada fase de elaboración.

**Tabla 27***Proceso de preparación*

<b>Paso</b>	<b>Actividad</b>	<b>Control</b>	<b>EPP Necesario</b>
1	Limpieza tanque	Visual	Guantes/botas
2	Medición agua (600 l)	Marca nivel	Guantes
3	Pesaje hipoclorito (0,54 kg)	Balanza	Completo
4	Pre dilución (20 l)	Visual	Completo
5	Mezcla en tanque	5 minutos	Completo
6	Verificación	Comparador	Guantes/lentes

La implementación de la nueva dosificación se llevó a cabo de forma gradual y controlada para garantizar la efectividad del proceso y facilitar la adaptación del personal encargado del monitoreo del sistema de tratamiento de agua.

**Tabla 28***Cronograma de implementación de la nueva dosificación propuesta*

<b>Fase</b>	<b>Duración</b>	<b>Actividades</b>	<b>Indicadores de Éxito</b>
I. Preparación	2 semanas	• Capacitación inicial	Personal capacitado
		• Implementación formatos	Formatos en uso
		• Calibración equipos	Equipos verificados
II. Transición	2 semanas	• Reducción gradual dosis	CI residual estable
		• Monitoreo intensivo	Registros completos
		• Ajustes operativos	Proceso controlado
III. Optimización	4 semanas	• Implementación total	Sistema estable
		• Validación resultados	Parámetros conformes
		• Documentación	Procedimientos validados

Asimismo, se realizaron módulos de capacitación para el personal encargado de preparar y administrar la dosificación en el sistema de cloración.

**Tabla 29**  
*Programa de capacitación*

Módulo	Duración	Contenido	Evaluación
Fundamentos	4h	Importancia desinfección Riesgos sanitarios Normativa aplicable Preparación solución	Teórica
Operación	8h	Control de proceso Uso de formatos Manejo de químicos	Práctica
Seguridad	4h	Uso de EPP Emergencias	Simulacro

Además, se realizó un plan de control operativo, en donde se establece los puntos críticos de monitoreo y la frecuencia de control necesaria para mantener el proceso dentro de los parámetros establecidos. Este plan tiene en cuenta formatos de registro estandarizados (Ver Anexo 3) que permitirán el seguimiento adecuado del proceso y la toma oportuna de decisiones.

**Tabla 30**  
*Plan de control operativo*

Actividad	Frecuencia	Puntos de Control	Registro
Preparación solución	Cada 7 días	Tanque solución	Formato S-01
Medición Cl residual	2 veces/día	Reservorio	Formato M-01
Medición Cl residual	1 vez/ 2 días	Red distribución	Formato M-02
Control caudal goteo	3 veces/día	Sistema dosificador	Formato C-01

**Tabla 31**  
*Resultados de monitoreo de cloro residual de la propuesta de dosis*

Muestreo	Punto de muestreo	Cloro residual (mg/l)
1	Reservorio	1,10
	Primera casa	0,82
	Última casa	0,56
2	Reservorio	1,20
	Primera casa	0,78
	Última casa	0,60
3	Reservorio	1,12
	Primera casa	0,85
	Última casa	0,60

Los resultados expuestos en la tabla demostraron que los niveles de cloro residual presentan un comportamiento uniforme durante los tres muestreos efectuados. El reservorio registró las concentraciones más elevadas, las cuales fluctuaron entre 1,10 y 1,20 mg/l, mientras que en la primera casa los valores oscilaron entre 0,78 y 0,85 mg/l. Simultáneamente, la última casa mantuvo niveles estables entre 0,56 y 0,60 mg/l. Esta reducción progresiva de la concentración desde el punto inicial hasta el extremo más alejado del sistema evidenció un patrón de decaimiento esperado y controlado.

Para cuantificar la variabilidad del proceso, se realizó un análisis estadístico descriptivo:

**Tabla 32***Análisis estadístico de la concentración de cloro residual de la propuesta de dosificación*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Media (mg/l)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>CV (%)</b>
Reservorio	1,14	0,003	0,05	4,39
Primera casa	0,82	0,040	0,04	4,88
Última casa	0,59	0,035	0,02	3,39

El análisis estadístico realizado para la concentración de cloro residual demostró que el reservorio alcanzó una media de 1,14 mg/l, con una varianza de 0,003 y una desviación estándar de 0,05, lo que produce un coeficiente de variación de 4,39%. La primera casa obtuvo una media de 0,82 mg/l, con una varianza de 0,040 y una desviación estándar de 0,04, generando un coeficiente de variación de 4,88%. Por su parte, la casa más alejada presentó una media de 0,59 mg/l, con una varianza de 0,035 y una desviación estándar de 0,02, logrando el coeficiente de variación más bajo del sistema con 3,39%. Estos parámetros evidencian una distribución uniforme y constante del cloro residual en todos los puntos analizados.

**Tabla 33***Análisis de decaimiento del cloro por tramo de la propuesta de dosificación*

<b>Monitoreo</b>	<b>Tramo</b>	<b>CI Inicial (mg/l)</b>	<b>CI Final (mg/l)</b>	<b>Decaimiento (%)</b>
1	R-PC	1,10	0,82	25,45
	PC-UC	0,82	0,56	31,70
2	R-PC	1,20	0,78	35,00
	PC-UC	0,78	0,60	23,08
3	R-PC	1,12	0,85	24,11
	PC-UC	0,85	0,60	29,41%

La tabla 33, muestra el porcentaje de decaimiento de cloro en los tramos reservorio – primera casa y primera – última casa, en los cuales la reducción de cloro residual es constante y no tiene picos muy elevados, lo que refleja una cloración efectiva.

Los resultados obtenidos en el tercer objetivo específico revelaron que los valores de cloro residual se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles establecidos tanto por la normativa de DIGESA como por las especificaciones de la tecnología de cloración empleada. La dosis óptima de hipoclorito de calcio al 70% fue de 0,54 kg, con un tiempo de recarga de la solución madre de 7 días y un caudal de goteo ajustado a 60 ml/min. De manera similar, Muñoz (2023) reportó que los niveles de cloro residual en el reservorio fluctuaron entre 1,0 mg/l y 1,5 mg/l, mientras que en los puntos de consumo de los usuarios variaron entre 0,5 mg/l y 1,0 mg/l, manteniéndose siempre dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente. Para un caudal de ingreso al reservorio de 0,9 l/s y un periodo de recarga de 7 días, se utilizó hipoclorito de calcio al 70%, con

un consumo aproximado de 1,17 kg del desinfectante y un caudal de goteo regulado a 60 ml/min. En contraste, Dávila (2023) determinó una dosis óptima de 4 kg de hipoclorito de calcio al 70% para una solución madre de 600 litros y un tiempo de recarga de aproximadamente 4 días. Además, el registro de cloro residual en el reservorio mostró valores entre 1,0 mg/l y 1,5 mg/l, y en las redes de distribución, entre 0,5 mg/l y 1,0 mg/l, cumpliendo así con los límites máximos permisibles establecidos.

#### 4.4. Demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio

**Tabla 34**

*Prueba de normalidad*

Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Demanda óptima (l/s)	0,958	10	0,791
Dosis óptima de cloro (g/día)	0,958	10	0,790

Los resultados de la prueba de normalidad, utilizando el estadístico de Shapiro-Wilk (menor igual a 50 datos), indican que tanto la demanda óptima (l/s) como la dosis óptima de cloro (g/día) no presentan evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad, dado que ambos valores de significancia (0,571 y 0,570, respectivamente) son mayores que el umbral común de 0,05. Esto sugiere que los datos se distribuyen normalmente.

**Tabla 35**

*Prueba estadística correlacional paramétrica*

		Demanda óptima (L/s)	Dosis óptima de Cloro (gr/día)
Demanda óptima (l/s)	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		0
	N	10	10
Consumo de hipoclorito de calcio (g/día)	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)	0	
	N	10	10

Nota: \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

La tabla 35 presenta los resultados de una prueba estadística correlacional utilizando el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre la demanda óptima de agua (l/s) y la dosis óptima de cloro (g/día). El análisis muestra un coeficiente de correlación de 1, lo que indica una relación perfecta y positiva entre ambas variables. Esta correlación perfecta se debe a que el consumo de hipoclorito de calcio se calcula directamente en función de la demanda óptima de agua, lo que explica la dependencia lineal exacta entre ambas. Además, el nivel de significancia bilateral es 0, lo que confirma que esta relación es estadísticamente significativa al nivel 0,01.

#### 4.4.1. Prueba de hipótesis

**Tabla 36**

*Resumen de modelo de regresión lineal simple*

Parámetros	R	R <sup>2</sup>	ANOVA		Dimensiones	Coeficientes		
			F	Sig.		Beta (B)	T student	Sig.
Consumo de hipoclorito de calcio (Y)	1,0 <sup>a</sup>	1,0	8275447,83	0,001 <sup>b</sup>	(Constante)	-0,020	-0,747	0,483*
					Demanda óptima de agua (X)	185,188	2876,71	0,001*

Nota. \*Significativa al 0,05; <sup>a</sup>Variable dependiente (X): Consumo de hipoclorito de calcio (g/día); <sup>b</sup>Variable independiente (Y): Demanda óptima de agua

La tabla 36 presenta el resumen del modelo de regresión lineal simple utilizado para la prueba de hipótesis. Se observa un coeficiente de correlación (R) de 1,0, lo que indica una relación perfecta entre la demanda óptima de agua y el consumo de hipoclorito de calcio. Asimismo, el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) es 1,0, lo que sugiere que el 100% de la variabilidad en el consumo de hipoclorito de calcio es explicada por la demanda óptima de agua. En cuanto al análisis de varianza (ANOVA), el estadístico F presenta un valor de 8 275 447,83, con una significancia de 0,001, lo que confirma la validez del modelo.

Además, en los coeficientes, la constante muestra un valor de -0,020, con un t-student de -0,747 y una significancia de 0,483, lo que indica que no es estadísticamente significativa; en otras palabras, la constante no aporta información relevante al modelo, ya que el consumo de hipoclorito de calcio se explica completamente por la demanda de agua. En contraste, el coeficiente de la variable independiente, demanda óptima de agua, es 185,188, con un t-student de 2 876,71 y una significancia de 0,001, lo que demuestra que esta variable tiene un impacto significativo en el consumo de hipoclorito de calcio. En conclusión, el modelo confirma que la demanda óptima de agua influye significativamente en el consumo de hipoclorito de calcio, respaldando la hipótesis planteada.

#### 4.4.2. Contraste de hipótesis

H0: La demanda óptima de agua no influye significativamente en el consumo de hipoclorito de calcio.

H1: La demanda óptima de agua si influye significativamente en el consumo de hipoclorito de calcio.

La decisión estadística: rechazar H0 ya que el p-valor fue menor a 0,05 como se muestra en la tabla 36.

## CONCLUSIONES

La proyección de la demanda óptima de agua para el centro poblado Vista Alegre presenta un crecimiento estable, con una tasa anual del 1,60%, una dotación diaria de 100 litros por habitante y un 20% de pérdidas físicas, ajustado por un coeficiente de variación diaria ( $k_1 = 1,3$ ). Estos parámetros permitieron estimar un caudal de 0,413 l/s para el año 2024, suficiente para satisfacer las necesidades de la población. La precisión obtenida mediante el método aritmético valida la metodología empleada y su utilidad para planificar sistemas de abastecimiento en comunidades rurales con condiciones similares, contribuyendo a una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

La evaluación del sistema de cloración demuestra una gestión deficiente, evidenciada por coeficientes de variación superiores al 100% en todos los puntos de muestreo, lo que refleja una notable inestabilidad en el proceso, manifestada tanto en episodios de subdosificación como de sobredosificación. El análisis del decaimiento del cloro, con pérdidas que oscilan entre el 31,03% y el 65,52% en el primer tramo de distribución, resalta que una dosificación inicial precisa tiene un impacto más significativo que la cantidad total de cloro aplicada para garantizar concentraciones adecuadas de desinfectante a lo largo de toda la red. Estos resultados enfatizan la importancia de optimizar la regulación y consistencia en la dosificación para mejorar la eficiencia y efectividad del tratamiento de agua potable.

La optimización del proceso de cloración, mediante una dosificación de 0,54 kg de hipoclorito de calcio al 70%, un intervalo de recarga de 7 días y un sistema de goteo ajustado a 60 ml/min, logró mantener concentraciones de cloro residual dentro del rango normativo de 0,5 a 1,0 mg/l en toda la red. Este enfoque asegura el cumplimiento de estándares de calidad y mejora el control del desinfectante, favoreciendo una distribución uniforme. Además, los coeficientes de variación cercanos al 4% y la estabilidad en el decaimiento del cloro residual destacan una desinfección más consistente y eficaz en todos los puntos de suministro.

El análisis integral del sistema confirma que la demanda óptima de agua influye directamente en el consumo de hipoclorito de calcio, destacando la necesidad de una optimización que contemple tanto el caudal a tratar como los factores que afectan en el decaimiento del cloro. Además, el coeficiente de correlación de Pearson igual a 1 evidencia una relación perfectamente lineal entre estas variables. Esta correlación absoluta se explica porque la dosis óptima de cloro se calcula directamente a partir de

la demanda óptima de agua, reflejando una dependencia total y precisa entre ambos parámetros.

## RECOMENDACIONES

A la municipalidad distrital de Soritor priorizar la planificación y la gestión sostenible de los recursos hídricos mediante la implementación del método aritmético para calcular la demanda óptima de agua. Asimismo, es esencial fomentar inversiones en infraestructura para minimizar las pérdidas físicas en la red de distribución, priorizando acciones como el mantenimiento preventivo y correctivo de tuberías y conexiones deterioradas.

Al Área Técnica Municipal (ATM) garantizar un seguimiento continuo y brindar capacitaciones regulares al personal encargado del manejo del sistema de cloración. Además, se sugiere adoptar tecnologías avanzadas de cloración por goteo, como el sistema de doble recipiente, que ofrece una mayor eficiencia operativa y un control más preciso en el proceso de dosificación.

A la JASS aplicar la dosis óptima de hipoclorito de calcio calculada e implementar un monitoreo riguroso de las concentraciones de cloro residual en diferentes puntos de la red, garantizando una distribución uniforme y evitando problemas de subdosificación o sobredosificación que puedan comprometer la calidad del agua.

A la Micro red de Salud de Soritor monitorear mensualmente los niveles de cloro residual en puntos clave del centro poblado para verificar el cumplimiento de las disposiciones establecidas por DIGESA. Asimismo, se deben registrar y analizar los casos de enfermedades diarreicas en la población, considerando su posible relación con la ingesta de agua tratada de manera inadecuada.

A la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín impulsar investigaciones que profundicen en la relación entre la demanda de agua y el consumo de desinfectantes, explorando tecnologías alternativas de cloración más eficientes y sostenibles. Además, sería valioso que estas instituciones colaboren con la JASS y la municipalidad en la capacitación de personal y la transferencia de conocimientos técnicos para optimizar los procesos de tratamiento de agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero, R. (1997). *Agua potable para poblaciones rurales* (Servicios educativos rurales, Ed.; 1st ed.). <https://www.ircwash.org/sites/default/files/221-16989.pdf>
- Andzi, T., y Bouakab, F. (2013). Physicochemical characterization and chlorination of well water consumed in Brazzaville-Congo. *Journal of Materials and Environmental Science*, 605–612. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84878912194partnerID=40ymd5=73a7ac03b7e90eb81ea56b246b9b99e9>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., y Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Arumugam, M., Vijayakumar, P., Kannan, C., Velmurugan, J., Arun, G., y Rohith, C. (2023). Design and Analysis of Deep Learning based Water Potability Prediction. *2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS)*, 477–482. <https://doi.org/10.1109/ICSSAS57918.2023.10331807>
- Barrientos, R., y Huacan, M. (2021). *Aplicación de hipoclorito de calcio y su efecto en el cloro residual a diferentes distancias, poblado de Calacoa, Moquegua, 2021* [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/74026/Barrientos\\_BR-S-Huacan\\_JMM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/74026/Barrientos_BR-S-Huacan_JMM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bartram, J., y Godfrey, S. (2015). *Drinking-water supply* (Vol. 1). <https://doi.org/10.4324/9781315693606-27>
- Belmino, G., Brito, W., Santos, T., Brasileiro, W., y Lima, A. (2022). Comparison of commercial disinfectants and an in loco-produced solution: free residual chlorine decay in human supply waters. *Water Supply*, 22(3), 2695–2706. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.443>
- Benítez, D. (2021). *Sistema de cloración automático para la junta administradora de agua potable regional oriental Milaló-Joseguando Bajo- Aláquez* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/24bba87e-0532-484c-ab0b-85dcfc0b2b10/content>

- Boindala, S., Jaykrishnan, G., y Ostfeld, A. (2023). Robust Optimal Booster Disinfectant Injection in Water Systems under Uncertainty. *Water*, 15(9), 1777. <https://doi.org/10.3390/w15091777>
- Boni, M. R., Copelli, S., y Raboni, M. (2020). Study of the performance of disinfection with sodium hypochlorite on a full-scale sewage treatment plant. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(6), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2652>
- Buamah, R., Akodwaa-Boadi, K., Paintsil, M., Baah-Enumh, E. K., y Adjaottor, A. A. (2014). Modelling the chlorine decay process in a distribution network using a pilot system. *Water Practice and Technology*, 9(4), 534–550. <https://doi.org/10.2166/wpt.2014.060>
- CEPIS. (2004). *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf)
- Chow, C. (2005). Water Analysis - Potable Water. In *Encyclopedia of Analytical Science* (pp. 253–262). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00654-3>
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado* (3rd ed., Vol. 4). <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- COSUDE. (2018). *Hipoclorador por goteo con flotador- Manual de instalación, operación y mantenimiento*. [https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/manual3\\_hipoclorador\\_por\\_goteo\\_con\\_flotador.pdf](https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/manual3_hipoclorador_por_goteo_con_flotador.pdf)
- Dávila, J. (2023). *Eficiencia del hipoclorador de carga constante de doble recipiente en la desinfección de agua potable del centro poblado San Marcos* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/5829>
- DIGESA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA*. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento\\_Calidad\\_Agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf)

- Farah, E., Khalil, M., Richa, M., y Abou, C. (2023). Conceptual Design of a Compact Water Purification Unit Using Reed Bed Filtration. *Separations*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/separations10030194>
- Fisher, I. (2019). Limitations on Optimizing Location and Scheduling of Chlorine Boosters in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001101](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001101)
- Fustamante, N. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/GIZ 2017. Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.Manual%20para%20la%20cloración%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf)
- Galindo, Y. (2021). *Diseño integral del sistema de agua potable contribuyendo a mejorar la calidad de vida de Ccotamarca, San Jerónimo- Apurímac 2021* [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/74410/Galindo\\_SY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/74410/Galindo_SY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guizani, M., Yajima, K., Kawaguchi, T., Ito, R., y Funamizu, N. (2018). *Morphological, Chemical and Electrochemical Carbon Based and Nobel Metal Electrode Characterization for Use in Water Electrochemical Disinfection* (pp. 933–935). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4\\_271](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4_271)
- INEI. (2020). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. [http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)
- Konda, D., y Dutta, S. (2024). Recent advances on the technologies for the disinfection of drinking water. In *Advances in Drinking Water Purification* (pp. 271–293). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91733-9.00012-X>
- Kumar, S., Chopra, M., Gupta, B., y Baredar, P. (2021). Stepped solar still: A review on designs analysis. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5647–5660. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.598>
- Liam, R. (2008). *Water resources research progress* (Inc. Nova Science Publishers, Ed.). [https://books.google.com.pe/books?id=\\_OfV1EqTS48Cyprintsec=frontcover&hl=e&sysource=gbs\\_ge\\_summary\\_rycad=0#v=onepage&qyf=false](https://books.google.com.pe/books?id=_OfV1EqTS48Cyprintsec=frontcover&hl=e&sysource=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepage&qyf=false)
- Locher, J., Robinson, D., Canú, E., Sanchez, G., Herrera, N., Muj, M., Crider, Y., y Marks, S. (2024). Assessment of a local and low-cost passive in-line chlorination device in

- rural Guatemala. *PLOS Water*, 3(9), e0000255.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000255>
- Lora, L. (2010). Water Supplies and Growth — The Elephant in the Living Room. *Planning y Environmental Law*, 62(3), 3–8.  
<https://doi.org/10.1080/15480751003672693>
- Muñoz, A. (2023). *Nivel estático en sistema de potabilización para ahorro de cloro y aprovechamiento de agua cruda en lavado de café* [Universidad Nacional de San Martín].  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/5750/1/ING.%20SANITARIA%20-%20Alexander%20Mu%c3%b1oz%20Diaz.pdf>
- MVCS. (2016). *Resolución ministerial. N° 173-2016-vivienda*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/22029/RM-173-2016-VIVIENDA.pdf>
- MVCS. (2018). *Norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1743222/ANEXO%20RM%20192-2018-VIVIENDA%20B.pdf.pdf>
- Mythrey, R., Ramachandra, N., y Shreevathsa. (2012). WATER: THE ELIXIR OF LIFE. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*, 3(6), 769–771.  
<https://doi.org/10.7897/2277-4343.03613>
- Nielsen, A., Garcia, L., Silva, K., Sabogal, L., Hincapié, M., Montoya, L., Galeano, L., Galdos-Balzategui, A., Reygadas, F., Herrera, C., Golden, S., Byrne, J., y Fernández, P. (2022). Chlorination for low-cost household water disinfection – A critical review and status in three Latin American countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 244, 114004.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114004>
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4th ed.).  
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf>
- Pacheco, H., Díaz, N., y Cabrera, W. (2018). *Compendio de innovaciones tecnológicas en agua y saneamiento rural – experiencias del proyecto SABA PLUS* (Z. Cárdenas, Ed.; 1st ed., Vol. 1). [https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/2compendio\\_innovc\\_tecn\\_ays\\_rural-ilovepdf-compressed.pdf](https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/2compendio_innovc_tecn_ays_rural-ilovepdf-compressed.pdf)

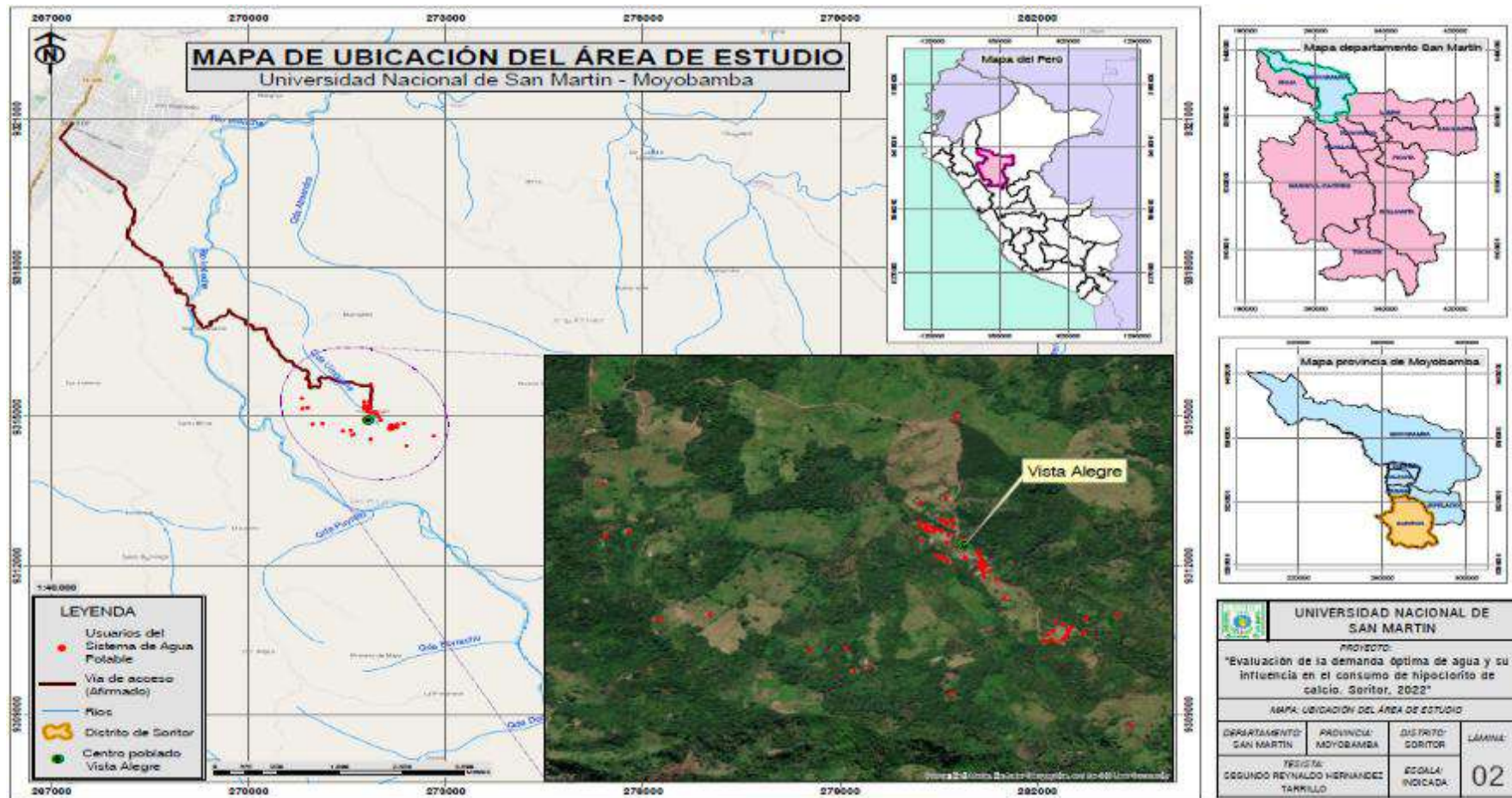
- Pakharuddin, N., Fazly, M., Ahmad, S., Tho, K., y Zamri, W. (2021). Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 880(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012017>
- Piri, I., Homayoonnezhad, I., y Amirian, P. (2010). Investigation on optimization of conventional drinking water treatment plant. *2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 304–310. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5652523>
- Popkin, B., D'Anci, K., y Rosenberg, I. (2010). Water, hydration, and health. *Nutrition Reviews*, 68(8), 439–458. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00304.x>
- Ramírez, F. (2017). *Tratamiento de desinfección del agua potable*. <https://gestion3.madrid.org/bvirtual/BVCM021001.pdf>
- Resolución Directoral N°160-2015/DIGESA/SA, Pub. L. No. 160, 2015 14 (2015). [http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd\\_160\\_2015\\_digesa.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd_160_2015_digesa.pdf)
- Reyes, I. (2024). *Diseño de un sistema de agua potable para el recinto la Pita de la vía Noboa del Cantón Jipijapa* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6126>
- Rishi, P., Reymond, D., y Lawrance, V. (2023). *A review of study on optimum utilization of water treatment plant sludge for treating domestic wastewater*. 130009. <https://doi.org/10.1063/5.0164627>
- Rodríguez, J. (2024). *Potabilización Del Agua: Teoría Aplicada* (Alpha Editorial). <https://www.proquest.com/legacydocview/EBC/31225080?accountid=37408>.
- Romero, H., Real, J., Ordoñez, J., Gavino, G., y Saldarriaga, G. (2021). *Metodología de la investigación* (Vol. 1). [https://acvenisproh.com/libros/index.php/Libros\\_categoria\\_Academico/article/view/22/29](https://acvenisproh.com/libros/index.php/Libros_categoria_Academico/article/view/22/29)
- Roque, M., Gomes, J., Reva, I., Valente, A., Simões, N., Morais, P., Durães, L., y Martins, R. (2023). An Opinion on the Removal of Disinfection Byproducts from Drinking Water. *Water*, 15(9), 1724. <https://doi.org/10.3390/w15091724>
- Rossington, K. (2013). The science of chlorine-based disinfectant. *Cleanroom Technology*, 21(12), 30–32.

- [https://www.researchgate.net/publication/287715364\\_The\\_science\\_of\\_chlorine-based\\_disinfectant](https://www.researchgate.net/publication/287715364_The_science_of_chlorine-based_disinfectant)
- Shamrukh, M., y Hassan, Y. (2005). Chlorination and optimal chlorine dosage for Nile water. *First Ain Shams University Int. Conf. on Environmental Engineering*, 1, 644–654. [https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Shamrukh/publication/268923558\\_CHLORINATION\\_AND\\_OPTIMAL\\_CHLORINE\\_DOSAGE\\_FOR\\_NILE\\_WATER/links/547af7410cf205d1687fe2b2/CHLORINATION-AND-OPTIMAL-CHLORINE-DOSAGE-FOR-NILE-WATER.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Shamrukh/publication/268923558_CHLORINATION_AND_OPTIMAL_CHLORINE_DOSAGE_FOR_NILE_WATER/links/547af7410cf205d1687fe2b2/CHLORINATION-AND-OPTIMAL-CHLORINE-DOSAGE-FOR-NILE-WATER.pdf)
- Sime, Y., y Kansal, M. (2024). Optimizing the number, locations, and chlorine dosages of booster chlorination stations in water distribution networks. *Water Supply*, 24(7), 2534–2546. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.161>
- Solsona, F., y Méndez, J. (2002). *Desinfección del agua*. 02.83. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SOLSONA%20y%20MENDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SOLSONA%20y%20MENDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf)
- SUNASS. (2024). *Benchmarking de organizaciones comunales 2024*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7167892/6147071-benchmarking-regulatorio-de-las-organizaciones-comunales-rurales-informe-n\\_0032-2024-sunass-df.pdf?v=1730755190](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7167892/6147071-benchmarking-regulatorio-de-las-organizaciones-comunales-rurales-informe-n_0032-2024-sunass-df.pdf?v=1730755190)
- UNESCO. (2019). *Más de 2000 millones de personas no tienen acceso a agua potable ni saneamiento básico*. <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452891>
- Vasquez, B. (2024). *Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del centro poblado Rutuna - Pomabamba – Pomabamba-Ancash, periodo enero - abril 2024* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/56d2d04d-e385-4889-974e-45794e56c68d/content>
- Velioğlu, Y., Akdoğan, R., y Baloğlu, Z. (2023). Effects of Humic Acid and Bromide on Trihalomethane Formation during Water Disinfection with Chlorine. *Akademik Gıda*, 21(4), 333–342. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1422793>
- Vierendel, H. (2009). *Abastecimiento de agua y alcantarillado* (4th ed.). [https://www.academia.edu/26059370/Abastecimiento\\_de\\_Agua\\_y\\_Alcantarillado\\_VIERENDEL](https://www.academia.edu/26059370/Abastecimiento_de_Agua_y_Alcantarillado_VIERENDEL)

- Yigit, O., Soyuncu, S., Eray, O., y Enver, S. (2009). Inhalational and dermal injury due to explosion of calcium hypochlorite. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 28(1), 37–40. <https://doi.org/10.1080/15569520802636132>
- Zheng, M., He, C., y He, Q. (2015). Fate of free chlorine in drinking water during distribution in premise plumbing. *Ecotoxicology*, 24(10), 2151–2155. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1544-3>

# ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación de lugar de estudio



## Anexo 2: Cálculos de la demanda óptima de agua y dosis óptima de hipoclorito de calcio

**Año 2023**

### A. Datos de la población

**Población 2023:** 192 habitantes

**Población institucional:**

I.E.	Nivel/Modalidad	N° estudiantes	Docentes	Total
806	Inicial - Jardín	11	1	12

I.E.	Nivel/Modalidad	N° estudiantes	Docentes	Total
806	Primaria	20	2	22

**Fuente:** <http://escale.minedu.gob.pe/web/inicio/padron-de-ieee>

**Otros locales:** 4

### B. Dotación

Dotación poblacional: 100 l/hab/día

Dotación institucional inicial y primaria: 20 l/alum/día

Otros locales: 500 l/día

### C. Caudal promedio

$$Qp = \frac{pf * dot}{86400}$$

Qp poblacional: 0,222 l/s

Qp institucional inicial y primaria: 0,007 l/s

Qp otros locales: 0,023 l/s

Pérdidas físicas 20% = 0,050 l/s

### D. Caudal de diseño

**K1 = 1,3**

**K2 = 2**

Qp total: 0,302 L/s

Qmd (Caudal máximo diario): 0,393 l/s

Qmh (Caudal máximo horario): 0,604 l/s

### E. Dosis óptima de hipoclorito de calcio

Q = 0,393 l/s

$$C_{cl} = 1,5 \text{ mg/l}$$

$$\%Cl = 70\%$$

$$V_d = 600 \text{ l}$$

$$T = 7 \text{ días}$$

### Cálculos

$$\bullet P = \frac{Q \cdot T \cdot C_2}{10 \cdot \%Cl} = \frac{0,393 \cdot 7 \cdot 86400 \cdot 1,5}{10 \cdot 70} = 509,33 \text{ gramos}$$

$$\bullet P_{cl} = 0,393 \times 1,5 \times 86\,400 / (10 \times 70) = 72,76 \text{ g/día}$$

$$\bullet V_{min} = \frac{\%Cl \cdot 10 \cdot P}{C_{max}} = \frac{70 \cdot 10 \cdot 509,33}{5000} = 71,31 \text{ litros}$$

$$\bullet C_1 = \frac{10 \times P \times \%Cl}{V_d}; C_1 \leq \frac{5000 \text{ mg}}{\text{l}}$$

$$C_1 = \frac{10 \times 509,33 \times 70}{600} = 594,22 \text{ mg/l}$$

$$\bullet Q_g = \frac{V_d}{1,44 \cdot T} = \frac{600}{1,44 \cdot 7} = 60 \text{ ml/min}$$

### Anexo 3: Mediciones de cloro sin propuesta de dosificación

07 de abril de 2023

Punto	Concentración
Reservorio	0,29
Primera casa	0,20
Última casa	0,11

Evidencia:



14 de abril del 2023

Punto	Concentración
Reservorio	0,29
Primera casa	0,10
Última casa	0,08

Evidencia:



21 de abril del 2023

Punto	Concentración
Reservorio	2,43
Primera casa	0,89
Última casa	0,86

Evidencia:



**Anexo 4: Formatos de registro**  
**FORMATO S-01: Control de Preparación de Solución**

**FECHA:** \_\_\_\_\_ **HORA:** \_\_\_\_\_

**OPERADOR:** \_\_\_\_\_

**1. LIMPIEZA DEL TANQUE**

Tanque limpio y desinfectado

Válvulas operativas

Sistema de goteo limpio

**2. PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN**

Volumen de agua: \_\_\_\_\_ l (600l)

Cantidad de hipoclorito: \_\_\_\_\_ kg

Tiempo de mezcla: \_\_\_\_\_ min (5 min mínimo)

**3. VERIFICACIÓN**

Cloro residual inicial: \_\_\_\_\_ mg/l

pH: \_\_\_\_\_

Temperatura: \_\_\_\_\_ °C

**4. OBSERVACIONES**

---

---

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Firma del operador

**FORMATO M-01: Control de Cloro Residual en Reservorio**

FECHA: \_\_\_\_\_

**MONITOREO DIARIO – RESERVORIO**

<b>Hora</b>	<b>Cloro residual</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Observaciones</b>
06:00			
18:00			

Límites permisibles: 1,0 – 1,5 mg/l

**Acciones correctivas:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del operador



**FORMATO C-01: Control de Caudal de Goteo**

FECHA: \_\_\_\_\_

**CONTROL DE CAUDAL**

<b>Hora</b>	<b>Caudal (ml/min)</b>	<b>Ajustes</b>	<b>Observaciones</b>
06:00			
14:00			
22:00			

Caudal de diseño: 60 ml/min

Rango aceptable: mayor a 45 ml/min

**Acciones correctivas:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Operador responsable

## Anexo 5: Permiso para ejecución de tesis por partes de la municipalidad distrital de Soritor



### CARTA DE AUTORIZACIÓN

El Área Técnica Municipal de los servicios de saneamiento del Distrito de Soritor, autoriza al señor **Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo**, identificado con DNI N° 73507796, bachiller de la carrera profesional de Ingeniería Sanitaria para que acceda al Sistema de Agua Potable del Centro Poblado Vista Alegre, jurisdicción del Distrito de Soritor con la finalidad de que pueda desarrollar su tesis titulado **“Evaluación de la demanda óptima del agua y su Influencia en el consumo de hipoclorito de calcio, Soritor, 2022”** con periodo de ejecución del 02/11/2022 al 02/07/2023, o el tiempo que demande su ejecución, para obter el grado de título profesional.

Soritor, 8 de diciembre del 2022.

Atentamente:

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SORITOR  
  
 Bach. Patricia Aguilar Fernández  
 JEFE DEL ATM

## Anexo 6: Rollo fotográfico



**Fotografía 1.** *Identificación el punto de muestreo en una vivienda*



**Fotografía 2.** *Caudal de goteo de solución de hipoclorito de calcio al reservorio*

# Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo

## Evaluación de la demanda óptima de agua y su influencia en el consumo de hipoclorito de calcio. Soritor, 2022

 INFORME DE TESIS

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::3117:566408007

Fecha de entrega

11 mar 2026, 11:19 GMT-5

Fecha de descarga

11 mar 2026, 12:53 GMT-5

Nombre del archivo

Informe de Tesis-Segundo Reynaldo Hernandez Tarrillo.docx

Tamaño del archivo

2.6 MB

76 páginas

17.431 palabras

101.397 caracteres




## 16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.