Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Escuela de Posgrado

Evaluación de parámetros organolépticos y cloro residual del agua potable en viviendas de la Ciudad de Huaral, 2022

Tesis

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ecología y Gestión Ambiental

Autor

Guillermo Artemio Robles Ossio

Asesor

M(o). Jhon Herbert Obispo Gavino

JHON HERBERT OBISPO GAVINO
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP. N°68007

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

INFORMACIÓN

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Guillermo Artemio Robles Ossio	15956541	17 de setiembre 2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Jhon Herbert Obispo Gavino	15728127	https://orcid.org/0000-0002-0972-2400
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS MAESTRÍA:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Luis Alberto Cardenas Saldaña	32766171	https://orcid.org/0000-0001-6812-5318
Flores Ignacio Calderon Carrasco	15590393	https://orcid.org/0000-0002-7347-9601
Luis Rolando Gonzales Torres	17835252	https://orcid.org/0000-0002-0777-8013

GUILLLERMO ARTEMIO ROBLES OSSIO (2026-0652...

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS Y CLORO RESIDUAL DEL AGUA POTABLE EN VIVIENDAS DE LA CIUDA...

DGI POSGRADO 2026

Dirección de Gestión de la Investigación-VRI 2026

DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3622618239

Fecha de entrega
4 ago 2026, 2:23 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
4 ago 2026, 2:57 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_Tur_-_GUILLERMO_ARTEMIO_ROBLES_OSSIO.pdf

Tamaño del archivo
2.8 MB

133 páginas

29.125 palabras

153.382 caracteres

20% Similitud general

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

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

20% Fuentes de Internet

9% Publicaciones

9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

DEDICATORIA

Mi tesis está dedicada al esfuerzo y el apoyo constante que me brindaron mi Madre Nora Ossio Montoya.

También dedico este trabajo a mi Padre que está en el cielo Glicerio Robles Saravia.

Son el motivo más grande que me llevo a culminar con éxito.

Guillermo Artemio Robles Ossio

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la UNJFSC por mi formación profesional.

Al Ing. Jhon Herbert Obispo Gavino, por el asesoramiento brindado en todas las etapas de ejecución del estudio.

Guillermo Artemio Robles Ossio

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

ÍNDICE GENERAL vii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xii

RESUMEN xiv

ABSTRACT xv

INTRODUCCIÓN xvi

CAPITULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1 Descripción de la realidad problemática 1

1.2 Formulación del problema 5

1.2.1 Problema general 5

1.2.2 Problemas específicos 5

1.3 Objetivos de la investigación 6

1.3.1 Objetivo general 6

1.3.2 Objetivos específicos 6

1.4 Justificación de la investigación 7

1.5 Delimitaciones del estudio 9

CAPITULO II 11

MARCO TEÓRICO 11

2.1 Antecedentes de la investigación 11

2.1.1 Investigaciones internacionales 11

2.1.2 Investigaciones nacionales 14
2.2 Bases teóricas 18
2.2.1 El agua potable y su importancia 18
2.2.2 Calidad del agua y parámetros organolépticos 19
2.2.2.1 Generalidades y aceptabilidad del agua potable 19
2.2.2.2 Contaminantes de origen biológico 19
2.2.2.3 Contaminantes de origen químico 20
2.2.3 La desinfección y el cloro residual 23
2.2.3.1 Importancia de la desinfección 23
2.2.3.2 Formas comunes de cloro 23
2.2.3.3 Factores que afectan la acción del cloro 25
2.2.3.4 Mecanismo de desinfección: Dosis, Demanda y Residual 26
2.2.3.5 Tipos de cloro residual (libre, combinado y total) 27
2.2.3.6 Método de tratamiento por cloración 27
2.2.3.7 Punto de ruptura de cloración 28
2.2.3.8 Muestreo en sistemas de distribución 30
2.2.3.9 Efecto de la intermitencia y la presión en el cloro residual. 30
2.2.3.10 Tiempo de contacto y monitoreo 31
2.2.4 Marco normativo internacional sobre calidad del agua para consumo humano 31
2.2.4.1 El enfoque de gestión preventiva y los Planes de Seguridad del Agua (PSA) 31
2.2.4.2 Valor de referencia de la OMS 32
2.2.5 Marco normativo para la calidad del agua para consumo humano en el Perú 33
2.2.5.1 Parámetros de control obligatorio (PCO) 34
2.2.5.2 Límites máximos permisibles para parámetros organolépticos 34
2.2.5.3 Control del desinfectante y cloro residual 35

2.2.5.4 Responsabilidades del proveedor y control de calidad 36
2.2.5.5 Vigilancia y fiscalización sanitaria 37
2.3 Bases filosóficas 37
2.4 Definición de términos básicos 38
2.5 Hipótesis de investigación 40
2.5.1 Hipótesis general 40
2.5.2 Hipótesis específicas 41
2.6 Operacionalización de las variables 41
CAPITULO III 43
METODOLOGÍA 43
3.1 Diseño metodológico 43
3.1.1 Tipo de investigación 43
3.1.2 Nivel de investigación 45
3.1.3 Enfoque de investigación 45
3.1.4 Diseño de investigación 45
3.2 Población y muestra 46
3.2.1 Población 46
3.2.2 Muestra 47
3.3 Técnicas de recolección de datos 48
3.3.1 Técnicas utilizadas 48
3.3.2 Detalle de los instrumentos 49
3.3.3 Procedimiento de recolección de datos 50
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información 53
CAPITULO IV 55
RESULTADOS 55

4.1 Análisis de resultados 55
4.1.1 Información y percepciones de los usuarios encuestados 55
4.1.2 Ubicación de los puntos de monitoreo 63
4.1.3 Cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, conductividad, TDS y dureza total) del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA 65
4.1.4 Cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA 72
4.1.5 Comparación los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en zonas respecto a la plaza de armas 74
4.2 Contrastación de hipótesis 75
4.2.1 Hipótesis específica 1 75
4.2.2 Hipótesis específica 2 79
4.2.3 Hipótesis específica 3 81
4.2.4 Hipótesis general 84
CAPITULO V 87
DISCUSIÓN 87
5.1 Discusión de resultados 87
CAPITULO VI 92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92
6.1 Conclusiones 92
6.2 Recomendaciones 93
CAPITULO VII 97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97
ANEXOS 103

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 *Criterios de la OMS para la evaluación de parámetros organolépticos, físicos y químicos del agua de consumo humano* 32

Tabla 2 *Operacionalización de variables* 42

Tabla 3 *Resultados del monitoreo de parámetros organolépticos* 65

Tabla 4 *Monitoreo de cloro residual por zonas evaluadas* 72

Tabla 5 *Resultados de pruebas estadísticas de cumplimento de LMP de parámetros organolépticos* 77

Tabla 6 *Resultados de la prueba binomial exacta para el cumplimiento del cloro residual* ... 80

Tabla 7 *Prueba H de Kruskal-Wallis por zonas de los parámetros evaluados* 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 *Ubicación de la ciudad de Huaral* 9

Figura 2 *Representación del punto de ruptura de cloración* 29

Figura 3 *Diseño no experimental transversal descriptivo* 46

Figura 4 *Escala de la prueba hedónica con escala de 9 puntos* 50

Figura 5 *Etapas para la recolección de datos* 52

Figura 6 *Usuarios encuestados por género* 55

Figura 7 *Distribución de los usuarios encuestados por rangos de edad* 57

Figura 8 *Distribución de los usuarios encuestados según su nivel de estudios* 58

Figura 9 *Percepción de la presencia de cloro en el agua potable* 59

Figura 10 *Hábito de consumo directo de agua del grifo de los usuarios* 61

Figura 11 *Percepción de la calidad general del agua potable* 62

Figura 12 *Ubicación de las zonas de viviendas monitoreadas en la ciudad de Huaral* 64

Figura 13 *Percepción del olor y sabor del agua potable por zonas evaluadas* 66

Figura 14 *Comportamiento de la turbiedad del agua potable por zonas evaluadas* 67

Figura 15 *Comportamiento del pH del agua potable por zonas evaluadas* 68

Figura 16 *Comportamiento de los TDS del agua potable por zonas evaluadas* 69

Figura 17 *Comportamiento de la conductividad del agua potable por zonas evaluadas* ... 70

Figura 18 *Comportamiento de la dureza total del agua potable por zonas evaluadas* 71

Figura 19 *Comportamiento del cloro residual del agua potable por zonas evaluadas* 73

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Matriz de consistencia 104

Anexo 2. Cuestionario y prueba hedónica de olor y sabor del agua potable 105

Anexo 3. LMP de parámetros organolépticos según el D S N° 031-2010-SA 106

Anexo 4. LMP para cloro residual de acuerdo al D S N° 031-2010-SA 107

Anexo 5. Equipo portátil para el análisis de agua potable 108

Anexo 6. Turbidímetro portátil Hach 2100Q y Medidor Multiparamétrico Portátil YSI Professional Plus 109

Anexo 7. Kit de Prueba de Dureza HI 3812 110

Anexo 8. Zona Este de las viviendas evaluadas 111

Anexo 9. Viviendas circundantes a la plaza de armas de Huaral 112

Anexo 10. Aplicación de cuestionario y análisis in situ de agua potable 113

Anexo 11. Análisis de cloro residual y turbiedad del agua potable 114

Anexo 12. Aplicación de cuestionario en las viviendas de la ciudad de Huaral 115

Anexo 13. Normalidad Shapiro-Wilk de los parámetros analizados 116

RESUMEN

Objetivo: Evaluar los niveles de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y el cloro residual del agua potable respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en viviendas de Huaral, y comparar su comportamiento según la ubicación geográfica (zonas Este, Centro y Oeste, con la Plaza de Armas como punto de referencia) durante diciembre de 2022. **Métodos:** Estudio cuantitativo con diseño no experimental, transversal y descriptivo. Se recolectaron 15 muestras de agua potable en el punto de consumo de las viviendas, distribuidas equitativamente en tres zonas. Las mediciones se realizaron con multiparámetro YSI, turbidímetro Hach 2100Q, colorímetro DR900 y kit de dureza HI 3812; la percepción de olor y sabor se evaluó mediante prueba hedónica de 9 puntos. Se aplicaron pruebas de Wilcoxon, t de Student, binomial exacta y Kruskal-Wallis con α=0,05. **Resultados:** Los parámetros organolépticos presentaron valores promedio de pH 8,17 (8,04-8,27), TDS 256 ppm (214-364), conductividad 510,4 µS/cm (425,0-724,4), turbiedad 0,35 UNT (0,21-0,47), dureza total 184,3 ppm $CaCO_3$ (153-222), y puntajes hedónicos de olor 5,6 y sabor 6,2 (rango 4-7), todos dentro de los LMP. El cloro residual promedió 0,578 mg/L (0,05-1,21 mg/L); solo el 66,67 % superó 0,5 mg/L y el 33,33 % registró valores <0,3 mg/L, incumpliendo la normativa. El análisis por zonas mostró diferencias significativas (*p-valor*<0,05) en pH, TDS, conductividad y cloro residual, pero no en olor, sabor, turbiedad ni dureza total. **Conclusiones:** El agua potable de Huaral es organolépticamente aceptable y cumple con los LMP; sin embargo, el cloro residual la incumple, evidenciando una falla en el poder desinfectante, especialmente en la zona Oeste, asociada a la intermitencia del suministro, las condiciones de almacenamiento interno y hábitos de consumo de los usuarios, lo que representa un riesgo microbiológico potencial para la población.

Palabras clave: Parámetros organolépticos, cloro residual, viviendas, agua potable.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the levels of compliance of organoleptic parameters (odor, taste, turbidity, pH, TDS, conductivity, and total hardness) and residual chlorine in drinking water with respect to the Maximum Permissible Limits (MPLs) of Supreme Decree No. 031-2010-SA in homes in Huaral, and to compare their behavior according to geographic location (East, Central, and West zones, with the Plaza de Armas as the reference point) during December 2022. **Methods:** This was a quantitative, non-experimental, cross-sectional, and descriptive study. Fifteen drinking water samples were collected at the point of consumption in homes, distributed equally across three zones. Measurements were taken using a YSI multiparameter meter, a Hach 2100Q turbidimeter, a DR900 colorimeter, and an HI 3812 hardness kit. Odor and taste perception were evaluated using a 9-point hedonic scale. Wilcoxon, Student's t-test, exact binomial, and Kruskal-Wallis tests were applied with α=0.05.. **Results:** The organoleptic parameters presented average values of pH 8.17 (8.04-8.27), TDS 256 ppm (214-364), conductivity 510.4 µS/cm (425.0-724.4), turbidity 0.35 NTU (0.21-0.47), total hardness 184.3 ppm $CaCO_3$ (153-222), and hedonic scores of odor 5.6 and taste 6.2 (range 4-7), all within the maximum permissible limits (MPL). Residual chlorine averaged 0.578 mg/L (0.05-1.21 mg/L); Only 66.67% exceeded 0.5 mg/L, and 33.33% registered values <0.3 mg/L, failing to meet regulations. Analysis by zone showed significant differences (p-value <0.05) in pH, TDS, conductivity, and residual chlorine, but not in odor, taste, turbidity, or total hardness. **Conclusions:** The drinking water of Huaral is organoleptically acceptable and complies with the LMP; however, the residual chlorine does not comply, evidencing a failure in the disinfecting power, especially in the West zone, associated with the intermittency of the supply, the internal storage conditions and consumption habits of the users, which represents a potential microbiological risk for the population.

Keywords: Organoleptic parameters, residual chlorine, homes, drinking water.

INTRODUCCIÓN

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) garantizar a toda la población el acceso a servicios de agua apta para el consumo, así como a sistemas de saneamiento e higiene que sean seguros y confiables constituye un pilar central de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 correspondiente a la Agenda 2030. A pesar de la prioridad global, el progreso es insuficiente, y la contaminación microbiana del agua afecta a por lo menos a 1 700 millones de individuos que consumen agua proveniente de fuentes con presencia de contaminantes (OMS, 2023). En el Perú, el agua potable es un recurso ecológico de gran relevancia para la salud; sin embargo, su composición mineralógica propia de la región andina y el modelo económico basado en la minería facilitan la dispersión de agentes químicos contaminantes que acaban en el agua que utiliza la población para su consumo (Villena, 2018). A esto se suma que, en el sector rural, apenas el 3 % de las personas recibe agua con un nivel adecuado de cloro, y en 11 departamentos del país, menos del 50 % de los residentes dispuso de abastecimiento continuo durante las 24 horas del día en 2022 (COMEXPERU, 2024). Esta situación pone en evidencia que la desinfección deficitaria constituye una falla de carácter estructural en el territorio nacional.

En el ámbito de la investigación, diversos estudios han evaluado los parámetros organolépticos y el cloro residual en diferentes contextos. Baldeón (2018), en Ecuador, y Castillo (2018) y Ferro et al. (2022), en Ilave (Puno), encontraron que parámetros como pH, Sólidos Totales Disueltos (TDS), conductividad y dureza total se mantenían dentro de los límites normativos, aunque reportó también que el cloro residual se encontraba mayoritariamente por debajo de 0,5 mg/L. Reynaldi y Alfiah (2022), en su estudio realizado en Indonesia, encontraron una relación inversa entre la lejanía de la planta potabilizadora y el cloro remanente que se conserva en el agua. En cambio, Morales et al. (2019), señalaron

en Costa Rica que la turbidez excedió el valor de 5 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) en el 76 % de las fuentes de agua superficial, y dicho comportamiento fue asociado a las variaciones propias de las estaciones climáticas. En el Perú, Sánchez et al. (2021), en Acobamba (Huancavelica), encontraron que el cloro residual libre no cumplía con el LMP en el 93,33 % de las muestras. Estos antecedentes demuestran que, aunque los parámetros organolépticos suelen cumplir con las normativas, el cloro residual constituye un desafío recurrente en diversas regiones. En esa misma línea, pero desde el enfoque de la valoración ciudadana, ante el malestar provocado por las tarifas elevadas y la falta de continuidad del servicio en Xalapa, México, Márquez y Ortega (2017) recurrieron a encuestas para registrar la perspectiva de los habitantes y orientar las acciones de mejora, evidenciando que el levantamiento sistemático de la percepción de los usuarios es una herramienta clave para el perfeccionamiento permanente de las entidades prestadoras, y destacan la conveniencia de combinar los análisis técnicos con la apreciación social.

No obstante, no se ha realizado un estudio sistemático del grado de cumplimiento de las características organolépticas y del cloro que subsiste como residual a lo largo del sistema de abastecimiento de Huaral, tampoco se ha examinado el comportamiento de dichos parámetros en diferentes zonas de la ciudad.

Así, el estudio consistió en examinar si los parámetros de calidad organolépticas (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y el desinfectante residual (cloro residual) en el agua de suministro a las viviendas de Huaral se encuentran dentro de lo establecido por el D.S. N° 031-2010-SA, y además, explorar cómo se comportaron estas variables en tres zonas de la ciudad de Huaral, durante el mes de diciembre de 2022.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Por parte de la OMS (2023), la amenaza más grave para la salud asociada al agua de bebida es la contaminación de origen fecal, la cual afectó a un mínimo de 1 700 millones de personas en 2022 que se abastecían de fuentes con presencia de agentes patógenos. La misma entidad OMS (2022) señala que el avance en materia de saneamiento, suministro de agua y prácticas de higiene puede ser impulsado a través de sistemas de gestión sólidos y financiamiento sostenido, los cuales constituyen la base de evidencias y saberes necesarios para dicho progreso. En tanto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) ya había anticipado que, para el año 2025, dos tercios de la humanidad podrían habitar en naciones con escasez de agua si se perpetúan las tendencias actuales de uso del recurso. Igualmente, las Naciones Unidas (2014, como se citó en Márquez & Ortega, 2017) estimaba que, para aquel entonces, las dos terceras partes de la población global podrían residir en naciones que enfrentan escasez de agua, lo cual conllevaría un menoscabo de las zonas de captación de agua dulce y, por ende, una disminución en su disponibilidad y calidad.

De acuerdo con la OMS (2022) aunque el 95 % de los países a nivel global reportaron tener metas WASH, solo el 27 % está en camino de alcanzar sus metas de saneamiento y apenas el 25 % se encuentra en trayectoria para cumplir sus metas de agua potable, situación

que incluye a los países sudamericanos. Conagua (2015, como se citó en Márquez & Ortega, 2017) constató un retraso en el suministro de agua por tubería en el estado de Veracruz, el cual fue señalado como una de las cinco regiones que, a pesar de disponer de los mayores volúmenes de agua, presentan el menor porcentaje de habitantes con cobertura de este servicio. Por su parte, Reyes y Nicasio (2016) en la ciudad de León, Guanajuato, México, encontraron que el descontento de la ciudadanía se expresaba principalmente por el gusto a cloro en el agua que consumen, por cuestiones de salubridad pública y por el elevado consumo de agua envasada; estos autores midieron el cloro residual libre en ocho fuentes de abastecimiento público del sector céntrico durante 25 jornadas y cotejaron las mediciones obtenidas con los valores máximos autorizados.

De acuerdo con Villena (2018), el valor ecológico del agua resulta fundamental no solo para la salud de la población, sino también para el crecimiento económico, en el Perú, la composición geológica propia de la cordillera andina y el modelo productivo centrado en la explotación minera propician la propagación de contaminantes químicos, particularmente metales pesados, que llegan incluso al agua destinada al consumo humano, lo que origina una exposición generalizada de los ciudadanos a un riesgo de tipo crónico que empieza a volverse difícil de controlar. De acuerdo a la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2023) el 90 % de los peruanos (3,3 millones) tiene acceso a agua potable y el 80 % (6,4 millones) a alcantarillado; sin embargo, la falta de agua actúa como una desventaja corrosiva que impacta negativamente en la salud, la educación, las oportunidades laborales y otras capacidades humanas, sumado a que, en el ámbito rural, solamente el 3 % de la población recibe agua clorada de forma adecuada. COMEXPERU (2024) informó que, durante 2022, menos de la mitad de los habitantes de once departamentos del país logró contar con suministro de agua a través de la red pública durante las 24 horas del día; entre las regiones con los porcentajes más bajos se encuentra Loreto

(21,6 %), Piura (13,4 %) y Tumbes (12,6 %), en contraste con Arequipa (90,4 %), Madre de Dios (83,2 %) y Apurímac (82 %).

El problema central se concentra en determinar el grado de cumplimiento de parámetros de naturaleza organoléptica (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y del cloro residual en el agua potable que reciben y disponen las viviendas de Huaral, contrastándolos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N° 031-2010-SA, así como evaluar si la calidad del agua varía significativamente entre viviendas de las zonas Este, Centro y Oeste con referencia a la Plaza de Armas de la ciudad, lo cual genera un vacío de información clave para la gestión sanitaria local. Cruz y Centeno (2020) afirmaron que la aptitud del agua para el consumo humano ha contribuido a incrementar la longevidad y a reducir numerosas patologías asociadas al agua contaminada; en tanto que Colmenares y Rojas (2021) señalaron que diversos elementos inciden en la calidad del suministro, ya sea por carencia de orientación técnica, ausencia de seguimiento o por una gestión administrativa deficiente. Por su parte, la OMS (2018) sostuvo que el seguimiento del cloro residual constituye un mecanismo de alerta temprana frente a eventuales alteraciones que podrían incidir en la evaluación de los indicadores microbiológicos. Asimismo, indicó que una caída súbita del desinfectante residual podría ser señal de entrada de contaminantes al sistema, mientras que la imposibilidad de sostener los niveles de cloro en ciertos tramos de la red, o su disminución progresiva, podría ser consecuencia de un alto consumo de agentes oxidantes, ya sea en el agua misma o en el revestimiento interno de las tuberías, o el acondicionamiento en los hogares como resultado de la actividad microbiana.

La FAO (2019) indicó que el sector agrícola es responsable de aproximadamente el 70 % del total de agua extraída a nivel mundial, porcentaje que se eleva hasta el 95 % en ciertas naciones en vías de desarrollo, y señaló que dicha actividad constituye

simultáneamente una de las causas principales y no de los sectores más perjudicados por la carencia de agua. Por otro lado, el Banco Interamericano de Desarrollo (2014, como se citó en Márquez & Ortega, 2017) advirtió que la gestión del agua resulta deficiente, dado que las pérdidas por filtraciones oscilan entre el 30 % y el 40 %, mientras que el uso por habitante alcanza los 318 litros al día, cifra que excede los umbrales de sostenibilidad, y las pérdidas totales del caudal llegan al 62 %. Asimismo, la OMS (2023) indicó que la gestión inadecuada de las aguas residuales generadas por actividades urbanas, industriales y agrícolas ocasiona que cientos de millones de individuos ingieran agua que contiene agentes de origen biológico o sustancias químicas. Además, advirtió que el agua de consumo, en especial aquella extraída de fuentes subterráneas, puede contener compuestos como arsénico y fluoruros, así como concentraciones elevadas de otras sustancias como el plomo, como consecuencia del desgaste de las tuberías de distribución.

La OMS (2023) estima que el agua destinada al consumo humano que contiene microorganismos patógenos ocasiona anualmente 505 000 fallecimientos a causa de enfermedades diarreicas, y también puede propagar el cólera, la fiebre tifoidea, la poliomielitis y la disentería. Por su parte, la FAO (2019) subrayó que la escasez hídrica constituye un eje central del desarrollo sostenible, puesto que resulta imposible generar los alimentos requeridos sin disponer de agua en cantidad suficiente. E-consulta (s.f., como se citó en Márquez & Ortega, 2017) identificó diversos reclamos por parte de la población referidos a las tarifas excesivas por el servicio, a la mala calidad del agua (turbiedad) y a la falta de suministro. Finalmente, la DOF NOM-127-SSA1 (1994, como se citó en Reyes y Nicasio, 2016) estableció que el agua potable es aquella que carece de contaminantes objetables, sean de naturaleza química o agentes infecciosos, y que no provoca afectaciones a la salud de los individuos..

De este modo, la presente investigación se planteó como finalidad examinar el grado de cumplimiento de las propiedades organolépticas y del cloro residual en el agua que llega y se consume en los hogares de Huaral, contrastándolos con lo estipulado en el D.S. N° 031-2010-SA, así como analizar su comportamiento en función de la lejanía o cercanía de la vivienda respecto a la Plaza de Armas de Huaral. Su principal contribución consiste en brindar un diagnóstico de carácter técnico y sistemático acerca de la metodología empleada para el análisis de la calidad del agua potable en las viviendas de la ciudad de Huaral. Con el fin de hacer partícipes a los usuarios, lo cual incide de manera directa en la protección de la salud de la comunidad.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el grado de cumplimiento de los parámetros organolépticos y del cloro residual del agua potable respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral, y cómo varía dicho comportamiento según la ubicación geográfica (zonas Oeste, Centro y Este, con referencia a la Plaza de Armas) durante diciembre de 2022?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022?
- ¿Cuál es el nivel de cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022?

- ¿Cómo varían los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y cloro residual del agua potable al comparar viviendas ubicadas en zonas Este, Centro y Oeste con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar los niveles de cumplimiento de los parámetros organolépticos y del cloro residual del agua potable respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral, y analizar su variación según la ubicación geográfica (zonas Oeste, Centro y Este, tomando la Plaza de Armas como punto de referencia) durante diciembre de 2022.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el nivel de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022
- Determinar el nivel de cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022.
- Comparar los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Este, Centro y Oeste con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.

1.4 Justificación de la investigación

Relevancia e importancia

Es de importancia conocer el comportamiento de las propiedades organolépticas (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y del desinfectante residual del agua potable consumida en Huaral, más aún si se toma en cuenta lo señalado por Cuenca et al. (2021), quienes sostienen que los servicios públicos revisten gran importancia para la sociedad y que resulta necesario conocer la percepción que los usuarios tienen de ellos. Esta necesidad se inscribe en un escenario mundial en el que, de acuerdo con la OMS (2017) aproximadamente 30 % de personas (2 100 millones) no disponen de agua potable en sus hogares, mientras que 60 % (4 500 millones) no cuentan con saneamiento seguro, según un reporte conjunto de la OMS y UNICEF. Lo anterior puso en evidencia la importancia de examinar la calidad del agua en entornos locales como Huaral, con el fin de salvaguardar el derecho al agua y la salud de los ciudadanos.

Pertinencia

Las Naciones Unidas (2002) consideran que toda persona pueda cubrir sus necesidades personales y domésticas, y resulta imprescindible que el agua a la que accede sea suficiente, salubre, aceptable, físicamente accesible y asequible, tal como lo establece el derecho humano al agua que, según Naciones Unidas, es un requisito previo para la efectividad de otros derechos y, además, es indispensable para vivir con dignidad, y que al ser un recurso natural limitado y un bien de dominio público esencial para la vida y la salud, debe estar disponible en cantidad y calidad adecuadas, de modo que, al contar con un suministro apropiado de agua salubre, se logra prevenir la muerte por deshidratación, reducir la probabilidad de contraer enfermedades de transmisión hídrica y satisfacer las necesidades de consumo, para alimentos, higiene y limpieza del hogar. En esta línea, la cuestión del

acceso universal al agua potable representa un reto que se aborda desde múltiples frentes; en ese sentido, las Naciones Unidas (s.f) al destacar con los ODS, la responsabilidad de los Estados en la salvaguarda del derecho humano al agua potable, se subraya la relevancia de garantizar su acceso universal para todas las personas. En diversas metas orientadas al logro de los ODS se hace referencia a la necesidad de actuar para reducir o atenuar los efectos de la extracción y el uso del agua para consumo humano, así como la imperiosa necesidad de extender la cobertura al universo social, mencionando de manera específica el ODS 6 (agua limpia y saneamiento) y el ODS 12, el cual se centra en la necesidad de adoptar patrones sostenibles de consumo y producción.

Impacto

El estudio, al evaluar el cumplimiento de los parámetros organolépticos y el cloro residual con el D.S. N° 031-2010-SA en una muestra de 15 viviendas estratificadas por zonas respecto a la Plaza de Armas de Huaral, proporciona un diagnóstico técnico preliminar sobre el estado de la calidad del agua que se consume en Huaral, el cual, si bien no es generalizable a toda la ciudad, constituye un punto de partida fundamental para la gestión sanitaria local; asimismo, la metodología empleada y los hallazgos obtenidos servirán como base para futuras investigaciones con muestras más amplias y para la planificación de medidas correctivas focalizadas, lo que contribuirá a mejorar la calidad percibida por los usuarios y a proteger su salud, al tiempo que se genera conciencia en la población participante sobre la relevancia de efectuar un seguimiento permanente de la calidad del agua de consumo.

1.5 Delimitaciones del estudio

a) Delimitación espacial

El ámbito de estudio se limitó al área urbana del distrito y provincia de Huaral, perteneciente al departamento de Lima. Las viviendas fueron agrupadas en tres niveles de distancia con relación a la Plaza de Armas de la ciudad de Huaral: Este, Centro y Oeste; con la finalidad de examinar el comportamiento de los parámetros en tres zonas de la ciudad. La localización geográfica de la ciudad de Huaral se presenta en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación de la ciudad de Huaral



Nota. Recuperado de Google (s.f.).

a) Delimitación temporal

Durante el mes de diciembre se desarrolló el trabajo de campo, en 2022, período en el que se efectuaron las mediciones y recolección de muestras de agua potable en los hogares de las zonas seleccionadas.

b) Delimitación teórica

La investigación se restringió de manera exclusiva a los análisis organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y cloro residual en el agua destinada al consumo, tal como lo prescribe el Anexo II y el Art. 66 del "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano", regulado por el D.S. N° 031-2010-SA. Quedaron fuera del alcance otros parámetros de naturaleza física, química, microbiológica o relacionados con metales pesados, lo cual constituye una delimitación de tipo teórico que dirige el análisis hacia las cualidades organolépticas y el desinfectante residual, factores que se hallan directamente relacionados a la conformidad del consumidor con el agua suministrada y con su seguridad microbiológica, en consonancia con las directrices de la OMS (2018).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Reynaldi y Alfiah (2022), investigadores del Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (Indonesia), plantearon como propósito analizar la calidad del agua distribuida a los usuarios, mediante la medición de indicadores fisicoquímicos como la temperatura y el pH. La metodología que aplicó consistió en muestrear 7 puntos del sistema de abastecimiento: uno ubicado en el reservorio de la planta potabilizadora y los seis restantes en hogares de consumidores situados a 1, 2, 3, 4, 5 y 6 kilómetros de distancia de dicha planta, en la localidad de Mojokerto (Indonesia). Los análisis de temperatura y pH se efectuaron a través de mediciones directas en laboratorio. Los hallazgos obtenidos mostraron que la temperatura del agua fluctuó entre 27 °C y 32 °C, en tanto que el pH se mantuvo entre 7,0 a 7,7, promediando 7,4 a lo largo de toda el área de cobertura. Con base en ello, los autores concluyeron que ambos parámetros se conservaron dentro de los valores normativos en la totalidad de la red de distribución.

Colmenares y Rojas (2021) plantearon como objetivo examinar los indicadores de riesgo asociados a la calidad del agua en los municipios del departamento de Boyacá, Colombia, durante el período 2016-2019, así como determinar su relación con la aparición de enfermedades de origen hídrico. Para ello, emplearon una metodología de corte

cualitativo y alcance descriptivo, fundamentada en el análisis de informes oficiales de los 123 municipios que conforman el departamento. En dicho análisis, consideraron variables como la turbiedad, el cloro residual libre, el pH, la dureza total, el color aparente y parámetros microbiológicos como coliformes totales y Escherichia coli. Como parte de sus hallazgos, encontraron que las anomalías más frecuentes afectaron principalmente al cloro residual, la turbiedad, el color aparente y los coliformes totales. Los autores detectaron agrupaciones de municipios que presentaban fallos significativos en dichos parámetros, mientras que otros exhibieron una conducta más uniforme sobre el acatamiento de los estándares de calidad. Asimismo, registraron que durante 2017 y 2018 las deficiencias en cloro residual y coliformes totales se agravaron, y para el año 2019 observaron una notoria irregularidad en la turbiedad, el color y el cloro residual en determinados conjuntos de municipios. En consecuencia, los autores determinaron que la calidad, la disponibilidad y la regularidad del suministro dependen de la cooperación entre instituciones para mejorar los procesos de tratamiento y distribución, dado que una proporción considerable de la infraestructura actual resulta obsoleta al haber sido proyectada sin contemplar las fluctuaciones estacionales de las fuentes de captación, lo cual repercute en la condición de apta que debe tener el agua para ser consumida por las personas.

Cruz y Centeno (2020), se propusieron evaluar la percepción de habitantes de cuatro cantones pertenecientes a la provincia de Cartago en Costa Rica, sobre el servicio que reciben de agua potable y problemas más comunes que afectan su calidad; aplicando encuestas a 2 194 usuarios en los cuatro cantones, obteniendo que los problemas más reportados por la población fueron el sabor 28,7 % y el olor 20 % a cloro, además de identificarse inconvenientes relacionados con la turbidez elevada y la presión insuficiente, particularmente en Oreamuno y Alvarado; los autores también detectaron una asociación significativa entre la continuidad del servicio y la percepción de la calidad del agua, así como

una fuerte dependencia entre el nivel de satisfacción , las deficiencias detectadas en el sistema y las medidas que los usuarios adoptan para contrarrestarlas. Llegando a concluir que los sistemas operados por ASADA presentaban mejores niveles de satisfacción que los municipales, y que el olor y sabor a cloro fueron las problemáticas más recurrentes en todos los cantones. Por ende, la valoración del servicio basada en la percepción de los usuarios complementa los parámetros técnicos habituales y presenta un amplio potencial para su aplicación en otras realidades latinoamericanas.

Morales et al. (2019), en su investigación, plantearon examinar el efecto de las variaciones climáticas sobre la calidad del agua en un sistema de suministro, midiendo los fisicoquímicos, microbiológicos y de cloro residual en el cantón Vásquez de Coronado (San José, Costa Rica), en cuatro de sus microcuencas; para lo cual realizaron un estudio descriptivo con 27 muestreos a lo largo de 54 semanas (considerando tanto época lluviosa como seca), siguiendo protocolos del estandarizados y aplicando pruebas estadísticas inferenciales (ANOVA, Kruskal-Wallis), obteniendo que la turbidez en las aguas superficiales superó las 5 UNT en el 76 % de los casos, mientras que en la red de distribución el cloro residual promedio arrojó 0,28 mg/L (inferior del rango aceptable) y la turbidez excedió las 5 UNT en el 39 % de las muestras; además, detectando diferencias significativas en los diferentes parámetros fisicoquímicos entre las distintas zonas de captación, así como una influencia estacional marcada, donde la conductividad aumentaba durante la época seca, mientras que los indicadores microbiológicos y la turbidez se incrementaban durante la época lluviosa; llegando a concluir que, según los estándares locales, las fuentes evaluadas no resultaban aptas para el consumo humano sin tratamientos avanzados, que la calidad del agua se deterioraba notablemente durante las lluvias y al circular por la red de distribución (evidenciado por la pérdida de cloro residual y el incremento de turbidez), por lo que recomendaron implementar un monitoreo sectorizado y examinar la integridad de la infraestructura.

Baldeón (2018), de la Universidad Internacional SEK de Ecuador, donde se propuso realizar la evaluación de la calidad del agua de consumo humano a través del análisis de sus parámetros, con objeto de verificar al cumplimiento con la Norma Técnica Ecuatoriana y determinar si el recurso era apto para el consumo sin riesgo para la salud; utilizando una metodología a través de la toma de muestras y los monitoreos in situ de pH, temperatura y oxígeno disuelto en diez puntos de muestreo distribuidos en la vertiente, anterior y posterior al tratamiento y en los siete barrios de la parroquia San Andrés, Chimborazo, Ecuador, para posteriormente enviar las muestras al laboratorio para el análisis de sólidos totales y disueltos, nitratos, cloro residual, metales pesados como plomo, arsénico, mercurio y cianuros, turbiedad y coliformes fecales, obteniendo como resultados que el pH se mantuvieron entre 6,62 y 7,34 (dentro de 6,0 a 9,0), los sólidos totales y los TDS se encontraron por debajo de los 500 mg/l y 319 mg/l respectivamente, el cloro residual varió de 0,31 a 0,41 mg/l (dentro de 0,3 a 0,5 mg/l que establece su norma), la turbiedad fue inferior a 0,01 UNT, los nitratos estuvieron entre 7 y 11 mg/l (por debajo de los 50 mg/l), y los metales pesados y los coliformes fecales presentaron concentraciones por debajo de los límites detectables o inferiores a los valores máximos permitidos; llegando a concluir que el agua consumida en la parroquia San Andrés cumple satisfactoriamente con los parámetros de potabilidad exigidos por la normativa ecuatoriana y es apta para el consumo humano, aunque se requiere un monitoreo constante y un adecuado mantenimiento de los sistemas de captación, tratamiento y distribución para preservar su calidad.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Ferro et al. (2022), en su estudio, se propusieron entre sus objetivos evaluar la calidad del agua potable mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos como turbiedad, cloro residual, pH y conductividad, para lo cual utilizó una metodología observacional y

prospectiva que consistió en la toma de muestras en diez puntos de muestreo (un punto en el río Ilave y nueve en grifos de viviendas de la ciudad de Ilave, Puno) durante tres semanas consecutivas de octubre de 2019, analizando la turbiedad con un turbidímetro portátil, el cloro residual con un colorímetro, y el pH y conductividad con un equipo multiparamétrico, obteniendo como resultados que la turbiedad varió entre 0,31 y 2,73 UNT, el pH entre 6,5 y 8,5, la conductividad entre 600 y 650 µmho/cm, todos estos parámetros se hayan dentro de los LMP del D.S. N° 031-2010-SA, mientras que el cloro residual presentó valores entre 0 y 0,62 mg/L en todas las muestras, encontrándose mayoritariamente inferior al valor de 0,5 mg/L recomendado y con variación aleatoria entre los muestreos, llegando a concluir que el agua distribuida posee una calidad fisicoquímica satisfactoria; no obstante, el reducido nivel de cloro residual hallado sería el factor que explica la probable presencia de coliformes en el agua. Por tal motivo, propusieron establecer medidas adicionales de recloración a través del sistema de abastecimiento, con el propósito de preservar concentraciones de cloro residual que aseguren la calidad microbiológica del recurso.

Sanchez (2022), Universidad César Vallejo, se propuso determinar la relación de la calidad del servicio y la satisfacción de los usuarios domésticos sobre el suministro de agua potable, para lo cual estudió a una muestra de 137 usuarios del distrito de Imperial en Cañete, obtenida mediante muestreo aleatorio estratificado, a quienes aplicó dos cuestionarios de 24 y 20 preguntas con escala de Likert para la medición de la calidad del servicio y su satisfacción respectivamente, obteniendo como resultados que el 56,2 % consideró como buena la calidad del servicio, el 38,7 % como regular, el 2,9 % como mala y el 2,2 % como muy buena, mientras que para la satisfacción el 59,1 % la calificó como buena, el 35,8 % como regular, el 2,9 % como muy buena y el 2,2 % como mala, encontrando además *r* de Pearson de 0,813 entre ambas variables, evidenciando una relación directa y significativa; asimismo, en las dimensiones específicas halló que el 56,9 % calificó la fiabilidad como

buena y el 40,1% como regular, y que la satisfacción está vinculada principalmente con la continuidad del servicio y la atención oportuna a reclamos, llegando a concluir que la gestión del abastecimiento de agua potable es adecuada, hecho que se manifiesta en la opinión positiva de los usuarios, y que la empresa prestadora posee los recursos de infraestructura, equipos y capital humano necesarios para proporcionar un servicio con estándares de calidad.

Sánchez et al. (2021), de la Universidad Nacional de Huancavelica, en la red de distribución de la ciudad de Acobamba, Huancavelica, realizaron la evaluación de la concentración de compuestos clorados., comparando la calidad del agua con el LMP del D.S. N° 031-2010-SA; tomando para ello unas 60 muestras de los grifos, zona urbana de Acobamba (15 muestras por cada uno de los 4 sectores) durante el mes de marzo de 2020, analizando el cloro total con un comparador de cloro y el cloro residual libre con un clorímetro tipo disco, obteniendo como resultados que la concentración de cloro total varió entre 0,0 y 1,31 mg/L, encontrándose dentro del LMP (≤ 5 mg/L) aunque en mínimas cantidades, mientras que el cloro residual libre varió entre 0,0 y 0,92 mg/L, detectando que solo el 6,67% de las muestras cumplió con el valor exigido por la normativa (≥ 0,5 mg/L), mientras que el 93,33% restante se encontró por debajo del LMP, evidenciando que la mayoría de los puntos de la red de distribución no alcanzan la concentración mínima requerida de cloro residual; asimismo, los autores observaron que el cloro total se encuentra dentro de los LMP pero en cantidades mínimas, lo que indica una inadecuada cloración inicial en la planta de tratamiento; llegaron a concluir que el nivel de cloro residual libre no satisface lo establecido en el D.S., lo cual evidencia que el recurso no resulta apto para el consumo de las personas, al tiempo que revela carencias en el proceso de cloración de la red de distribución, circunstancia que no garantiza la potabilidad del agua que se suministra a la población de Acobamba.

Breña (2018), Universidad César Vallejo, se propuso determinar la relación del control del cloro residual con la satisfacción del cliente, utilizando una metodología con diseño descriptivo correlacional y enfoque cuantitativo, aplicado a 80 usuarios de la municipalidad distrital de Salas (Ica) seleccionados mediante un muestreo no probabilístico, aplicando dos cuestionarios con 24 ítems cada uno para medir el control de calidad y la satisfacción del cliente, obteniendo que el 52,5 % de los encuestados considera que el control de cloro residual es bueno, el 23,8 % regular, el 13,8 % deficiente y el 10,0 % excelente, mientras que para el control bacteriológico el 48,8% lo califica como bueno, el 18,8 % regular, el 16,3 % excelente y el 16,3 % deficiente, y para el control físico químico el 52,5 % lo considera bueno, el 23,8 % regular, el 13,8 % deficiente y el 10,0 % excelente; asimismo, obtuvo un *r* Pearson de 0,685 entre la supervisión del cloro residual y el grado de satisfacción del usuario; de 0,642 entre la vigilancia bacteriológica y la satisfacción; y de 0,828 entre el control fisicoquímico y la satisfacción, todos ellos con un nivel de significancia de 0,00. Dichos resultados demuestran la existencia de relaciones positivas y estadísticamente significativas entre cada una de las dimensiones del control de calidad del agua potable y la satisfacción de los clientes. De ello infiere que los usuarios muestran un nivel de satisfacción aceptable con el servicio proporcionado por la empresa de agua potable, y que el control de la calidad del agua se halla directamente vinculado con la satisfacción de los usuarios. Ello le confirma que, en aquellas localidades donde no se efectúa un adecuado control de calidad del agua, los habitantes manifiestan insatisfacción y son más vulnerables a contraer enfermedades, en cambio, en los sectores urbanos donde la vigilancia del agua es más intensa, se evidencia una satisfacción más elevada entre los usuarios.

Castillo (2018), Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, se propuso realizar la evaluación del agua potable en Ilave (Puno), para lo cual utilizó una metodología observacional y prospectiva que consistió en el muestreo de tres puntos del sistema de

abastecimiento (captación, depósito de bombas y reservorio) durante los meses de febrero a abril de 2018, analizando un total de 24 muestras de agua potable mediante métodos estandarizados para la determinación de pH, dureza total, cloruros, sulfatos, nitritos, TDS y turbiedad, obteniendo valores promedio de pH de 7,94 a 8,05 unidades, la dureza total entre 160,67 y 174,62 mg/l de $CaCO_3$, los cloruros entre 111,72 y 143,61 mg/l, los sulfatos entre 56,36 y 69,54 mg/l, los nitritos entre 0,53 y 0,96 mg/l, los TDS entre 367,23 y 458,27 mg/l y la turbiedad entre 3,87 y 5,17 UNT, encontrando que todos los parámetros fisicoquímicos evaluados se encontraban conforme al D.S. N° 004-2017-MINAM a excepción de la turbiedad en el punto de captación (PM1) que superó el valor normado de 5 UNT al alcanzar 5,5 UNT; asimismo, mediante el análisis de varianza determinó que los valores de turbiedad presentaron diferencia estadística significativa entre los puntos de muestreo (F=6,34; *p-valor*=0,0331), siendo superior en PM1 e inferior en PM3, mientras que para los parámetros de pH, dureza, cloruros, sulfatos, nitritos y TDS no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los puntos evaluados, llegando a concluir que el agua potable de Ilave satisface la normativa fisicoquímica vigente, salvo por la turbidez en la captación, la cual tiende a disminuir durante el tratamiento de potabilización.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El agua potable y su importancia

La exigencia de garantizar un suministro de agua cumpliendo las condiciones de suficiencia, inocuidad y accesibilidad se vuelve ineludible, dado que este recurso resulta indispensable para sostener la vida. Como bien lo define la OMS (2018), la seguridad en el consumo de agua se fundamenta en que su ingesta prolongada a lo largo de todo el ciclo vital humano no ocasione efectos adversos para la salud, y dicha seguridad debe evaluarse

tomando en cuenta las vulnerabilidades particulares que presentan los individuos en las diferentes fases de su desarrollo.

El respeto al derecho humano al agua exige que el suministro brinde suficiencia, inocuidad y facilidad de acceso a la población. Por ello, la OMS (2018).sostiene que el eje central de sus lineamientos sobre el agua de consumo es la salvaguarda de la salud pública.

2.2.2 Calidad del agua y parámetros organolépticos

2.2.2.1 Generalidades y aceptabilidad del agua potable

La calidad del agua que es destinada hacia el consumo humano se define a partir de un conjunto de propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas, y la OMS (2018) ha señalado que la prioridad máxima debe otorgarse a que el suministro sea no solo seguro sanitariamente, sino también agradable en cuanto a su apariencia, sabor y olor; esto obedece a que, cuando el agua presenta turbiedad, color o sabores y olores desagradables, los consumidores tienden a rechazarla por considerarla peligrosa para su salud, aunque dichos atributos no representen por sí mismos un riesgo inmediato, y es precisamente por ello que la misma entidad advierte que cualquier modificación repentina en el aspecto, el sabor o el aroma del agua al abastecer a las poblaciones debe ser motivo de investigación, ya que podría estar reflejando cambios de calidad en la fuente o algunas fallas en su potabilización.

2.2.2.2 Contaminantes de origen biológico

Entre los distintos microorganismos que pueden encontrarse en las fuentes de agua, la OMS (2018) señala que aquellos sin relevancia patogénica directa resultan igualmente indeseables porque afectan su olor y sabor; un ejemplo de ello lo constituyen los actinomicetos y hongos que proliferan especialmente en aguas superficiales y que son capaces de generar compuestos como la geosmina y el 2-metil isoborneol, responsables de

aromas y sabores desagradables, mientras que las floraciones de cianobacterias y algas también contribuyen a la presencia de estas y otras sustancias cuyos umbrales de percepción gustativa resultan extremadamente reducidos, alcanzando niveles de nanogramos por litro, y la propia organización advierte adicionalmente que la existencia de numerosas comunidades de invertebrados es un marcador de elevados contenidos de materia orgánica que, a su vez, pueden provocar problemas como la proliferación microbiana.

2.2.2.3 Contaminantes de origen químico

La OMS (2018) explica que ciertos contaminantes químicos pueden ser detectados por los sentidos del consumidor en concentraciones mucho menores que las que realmente representan un peligro, y que esa percepción es la que provoca el rechazo; en ese sentido:

- **Cloro:** La capacidad sensorial de los individuos para identificar la presencia de cloro en el agua se activa en concentraciones que resultan sustancialmente más bajas que el límite máximo recomendado por razones sanitarias, ya que mientras la mayoría de la población logra percibirlo mediante el gusto y el olfato por debajo de los 5 mg/L, algunas personas son capaces de detectarlo desde los 0,3 mg/L (OMS, 2018).
- **Clorobencenos:** Son una serie de umbrales organolépticos variables según el compuesto, de modo que el monoclorobenceno se percibe entre 10 y 20 µg/L para el gusto y entre 40 y 120 µg/L para el olfato (carente de valor de referencia), el 1,2-diclorobenceno se detecta en 1 µg/L (gusto) y entre 2 y 10 µg/L (olfato) con un límite referencial de 1 mg/L, el 1,4-diclorobenceno en 6 µg/L y de 0,30 a 30 µg/L (con 0,3 mg/L como referencia), y los triclorobencenos (en sus formas 1,2,3-, 1,2,4- y 1,3,5-) presentan umbrales olfativos de 10, 5-30 y 50 µg/L

respectivamente, sin que se haya calculado un valor de referencia sanitario para este último grupo (OMS, 2018).

- **Clorofenoles:** Los umbrales de percepción para los clorofenoles en el agua, resultan extremadamente reducidos, pues el 2-clorofenol se detecta a partir de los 0,1 µg/L por sabor y los 10 µg/L por olfato, el 2,4-diclorofenol se distingue en 0,3 µg/L y 40 µg/L, y el 2,4,6-triclorofenol en 2 µg/L y 300 µg/L, aunque si este último compuesto no logra ser percibido mediante el gusto, su potencial para representar un riesgo sanitario importante es muy bajo (OMS, 2018).
- **Color:** El agua destinada al consumo humano debe carecer por completo de coloración visible, ya que su presencia suele atribuirse a la existencia de materia orgánica disuelta del suelo, a la corrosión de infraestructuras que libera metales como el hierro, o a la contaminación por vertidos industriales, situaciones que pueden constituir una señal de alerta, por lo que cualquier cambio cromático sustancial en el suministro debe ser investigado de manera inmediata; no obstante, los consumidores suelen aceptar niveles de color inferiores a 15 UCV, y el organismo no ha fijado un valor de referencia de carácter sanitario para este parámetro (OMS, 2018).
- **Dureza:** Se origina por los iones de calcio y magnesio disueltos, resultando fácilmente detectable para los consumidores debido a la formación de precipitados con el jabón y a la necesidad de emplear una mayor cantidad de detergente para lograr la limpieza deseada, y aunque la percepción de su aceptabilidad varía ampliamente entre las distintas comunidades, el nivel de concentración a partir del cual el calcio es perceptible por el gusto se ubica entre 100 y 300 mg/L (según el anión que lo acompañe), mientras que para el magnesio dicho umbral parece ser aún más reducido; sin embargo, la OMS no propone un

límite sanitario específico para la dureza, a pesar de que en algunos casos los usuarios toleran valores superiores a los 500 mg/L (OMS, 2018).

- **pH y corrosión:** El pH constituye un parámetro operativo de gran relevancia para los sistemas de abastecimiento, ya que su control riguroso es necesario para garantizar una clarificación y desinfección eficaces, siendo recomendable que el pH se mantenga por debajo de 8 para optimizar la acción del cloro, pero sin llegar a valores iguales o inferiores a 7, ya que ello incrementaría el riesgo de corrosión de los materiales de la red; el pH carece de un valor de referencia con fundamento sanitario, aunque su rango óptimo se fija entre 6,5 y 8, en función de la composición química del agua y de los materiales de la red de distribución (OMS, 2018).
- **Sólidos totales disueltos:** Los TDS influyen notablemente en la aceptación del agua por parte de los consumidores, pues cuando la concentración se mantiene por debajo de 600 mg/L el sabor suele considerarse aceptable, pero al superar los 1 000 mg/L se experimenta un deterioro progresivo y significativo del gusto, que se acompaña además de un rechazo por las excesivas incrustaciones que se producen en tuberías y en los electrodomésticos; ante ello, la OMS no ha fijado un límite de referencia con base en efectos sobre la salud para este parámetro.
- **Turbiedad:** La turbidez visible en el agua potable, pese a que sus partículas no representen por sí mismas una amenaza sanitaria, genera una percepción de inseguridad por parte de los consumidores, quienes suelen asociarla con la falta de potabilidad, de modo que cuando los usuarios están habituados a un suministro de alta calidad, esta respuesta se exacerba, llevándolos a reducir su consumo o a optar por fuentes alternativas que, aunque parezcan más claras, podrían resultar menos seguras; por consiguiente, cualquier queja por turbidez

inesperada debe ser investigada a fondo, ya que podría ser un indicativo de fallas en la red de distribución (OMS, 2018).

2.2.3 La desinfección y el cloro residual

2.2.3.1 Importancia de la desinfección

Frente a la particular vulnerabilidad que suelen presentar los entornos rurales, donde las fuentes de abastecimiento se ven frecuentemente expuestas a agentes microbiológicos y los recursos técnicos suelen ser bastante limitados. La OMS (2018) enfatiza que el proceso de desinfección es completamente necesario para asegurar la potabilidad del agua que beben las personas, puesto que la eliminación de microorganismos causantes de enfermedades constituye una operación básica y recurrente que se ejecuta frecuentemente mediante el empleo de compuestos químicos reactivos como el cloro; asimismo, la misma entidad explica que este procedimiento, cuando se lleva a cabo de manera apropiada, representa una defensa altamente eficaz contra un amplio espectro de patógenos, con especial efectividad sobre las bacterias, por lo que su aplicación resulta obligatoria tanto en aguas de origen superficial como en aquellas extraídas de acuíferos subterráneos que pudieran haber sido afectados por contaminación fecal.

En esa misma línea de razonamiento, la guía técnica de Núñez (2024) agrega que, para las comunidades campesinas o aisladas, la desinfección mediante cloro es una práctica de primer orden, ya que en dichos escenarios la carencia de tecnología avanzada es una constante y los riesgos de contaminación biológica suelen ser significativamente mayores.

2.2.3.2 Formas comunes de cloro

Según lo documentado por la OMS (2018) y la guía de Núñez (2024), la desinfección con cloro en entornos rurales suele llevarse a cabo mediante tres métodos bien diferenciados;

a) **Hipoclorito de calcio ($Ca(ClO)_2$):** La OMS (2018) recomienda disolverlo previamente en agua antes de incorporarlo a la línea principal de distribución, lo que, unido a su presentación sólida en polvo, gránulos o tabletas, le proporciona una notable estabilidad química y una prolongada vida útil, tal como lo destaca la guía técnica de Núñez (2024);esta condición hace que su almacenamiento resulte particularmente favorable en entornos donde las condiciones climáticas o de infraestructura no son ideales;

b) **Hipoclorito de sodio (NaClO):** Al ser una solución líquida, es de fácil aplicación, sin embargo, Núñez (2024) advierte que su baja estabilidad y su elevada sensibilidad a la luz solar y al calor provocan una degradación más acelerada en comparación con los compuestos de calcio; en ese sentido, la OMS (2018) precisa que su dosificación puede efectuarse por medio de bombas de desplazamiento positivo o sistemas de gravedad, aunque recomienda preservar su integridad mediante el uso de envases herméticos y su resguardo de la radiación directa;

c) **Cloro gaseoso (Cl_2):** por su parte, se reconoce como el agente desinfectante de mayor eficacia, pero Núñez (2024) subraya que su manejo demanda equipos sofisticados y operadores con formación especializada por los riesgos inherentes a su utilización; la OMS (2018) añade que este gas se suministra a presión y se dosifica mediante cloradores específicos que lo extraen del cilindro para inyectarlo al agua, motivo por el cual su implementación queda limitada a instalaciones que dispongan de la capacidad técnica y humana necesarias para afrontar las medidas de seguridad correspondientes;

2.2.3.3 Factores que afectan la acción del cloro

Tanto la guía técnica de Núñez (2024) como la OMS (2018) coinciden en señalar que la efectividad del cloro como desinfectante puede verse comprometida por diversas condiciones presentes en el agua; Núñez (2024)) detalla que estos factores influyen directamente en la demanda de cloro y en la eficiencia del proceso, mientras que la OMS (2018) complementa esta información al establecer que el control de estos parámetros constituye un requisito fundamental para asegurar una desinfección efectiva y preservar la calidad del agua en toda la red de distribución; a continuación, se describen los principales factores:

a) La turbidez, según lo explica Núñez (2024), constituye un obstáculo significativo para la acción del cloro, puesto que las partículas en suspensión tienden a albergar y proteger a los microorganismos, lo que impide que el desinfectante entre en contacto directo con los patógenos y, además, exige la aplicación de dosis más elevadas para lograr una desinfección efectiva;

b) La presencia de materia orgánica, como lo señala Núñez (2024), representa un consumo adicional de cloro, pues al reaccionar con el desinfectante lo neutraliza antes de que pueda ejercer su acción sobre los agentes patógenos, dando lugar a una demanda química más elevada y en la posibilidad de que el residual sea insuficiente si no se ajusta la dosis;

c) El pH del agua, de acuerdo con Núñez (2024), es un factor determinante, pues el cloro alcanza su máxima eficacia entre 6,5 y 8,5, es decir, en un rango prácticamente neutro; la OMS (2018) complementa esta información al señalar que, para obtener un resultado óptimo en la desinfección con cloro, el pH debe mantenerse por debajo de 8 para alcanzar un rendimiento óptimo en la

desinfección con cloro, ya que valores más elevados reducen la proporción de ácido hipocloroso, que es la forma más activa del desinfectante;

d) La temperatura, según lo indica Núñez (2024), influye en la velocidad de reacción del cloro, de modo que a temperaturas más altas la desinfección tiende a ser más rápida, mientras que en climas fríos o en aguas con baja temperatura puede ser necesario prolongar el tiempo de contacto para alcanzar el mismo nivel de eficacia.

2.2.3.4 Mecanismo de desinfección: Dosis, Demanda y Residual

La OMS (2018) y Núñez (2024) coinciden en que la eficacia de la cloración está sujeta a la relación entre la dosis aplicada, la demanda que ejerce el agua y el residual que queda al final; en ese sentido:

a) Dosis de Cloro: Cantidad añadida al agua con la finalidad de asegurar su desinfección y dejar un residual protector (Núñez, 2024).

b) Demanda de Cloro: Cantidad adicional que debe aplicarse para contrarrestar las sustancias que consumen el cloro, como la materia orgánica o el amoníaco, las cuales compiten con los patógenos por el desinfectante (Núñez, 2024).

c) Cloro residual libre: Remanente que queda en el agua luego de haber interactuado con los contaminantes existentes (Núñez, 2024).

Finalmente, la OMS (2018) señala que la vigilancia del cloro residual constituye un parámetro fundamental para detectar problemas microbiológicos, y que una pérdida repentina y anormal de este residual puede indicar la entrada de contaminación al sistema.

2.2.3.5 Tipos de cloro residual (libre, combinado y total)

La guía técnica de Núñez (2024) establece una diferenciación para el cloro residual en las siguientes categorías:

- **Cloro libre residual:** constituye la fracción más activa para la desinfección y oxidación, y está compuesto fundamentalmente por ácido hipocloroso y por el anión hipoclorito (Núñez, 2024).
- **Cloro combinado residual:** Descrito como un compuesto con una capacidad desinfectante reducida, que además puede generar malos olores e irritaciones, y que se origina cuando el cloro libre reacciona con el amoníaco y la materia orgánica nitrogenada para formar cloraminas (Núñez, 2024).
- **Cloro total residual:** Representa la sumatoria del cloro libre y el cloro combinado, y señala además que, para asegurar una calidad aceptable del agua, el valor del cloro total no debe superar en 0,6 mg/L al valor del cloro residual libre (Núñez, 2024).

2.2.3.6 Método de tratamiento por cloración

La OMS (2018) describe tres técnicas de cloración que se emplean de acuerdo con las características del agua fuente y de lo que se persigue en la desinfección, tal como se detalla a continuación:

a) La cloración a punto de quiebre consiste en aplicar una dosis suficiente de cloro que logre oxidar completamente los compuestos nitrogenados presentes en el agua, de manera que, una vez satisfecha dicha demanda, quede un remanente de cloro libre residual lo bastante estable como para actuar como barrera de

protección contra posibles recontaminaciones a lo largo de todo el trayecto hasta el grifo del consumidor.

b) La técnica de supercloración seguida de decloración, por su parte, se utiliza cuando se requiere una desinfección de acción rápida, lo que se logra añadiendo inicialmente una cantidad elevada de cloro para eliminar cualquier carga bacteriana, para luego reducir el exceso de cloro residual hasta niveles aceptables y así evitar que el sabor del agua resulte desagradable; esta técnica resulta especialmente indicada ante variaciones en la carga bacteriana o cuando el período de retención en los depósitos es limitado.

c) Finalmente, la cloración marginal se aplica en sistemas donde el agua cruda ya presenta una calidad elevada y, por consiguiente, su demanda de cloro es extremadamente baja, de modo que la dosis añadida solo busca alcanzar un residual libre deseado sin necesidad de llegar al punto de quiebre. (OMS, 2018)

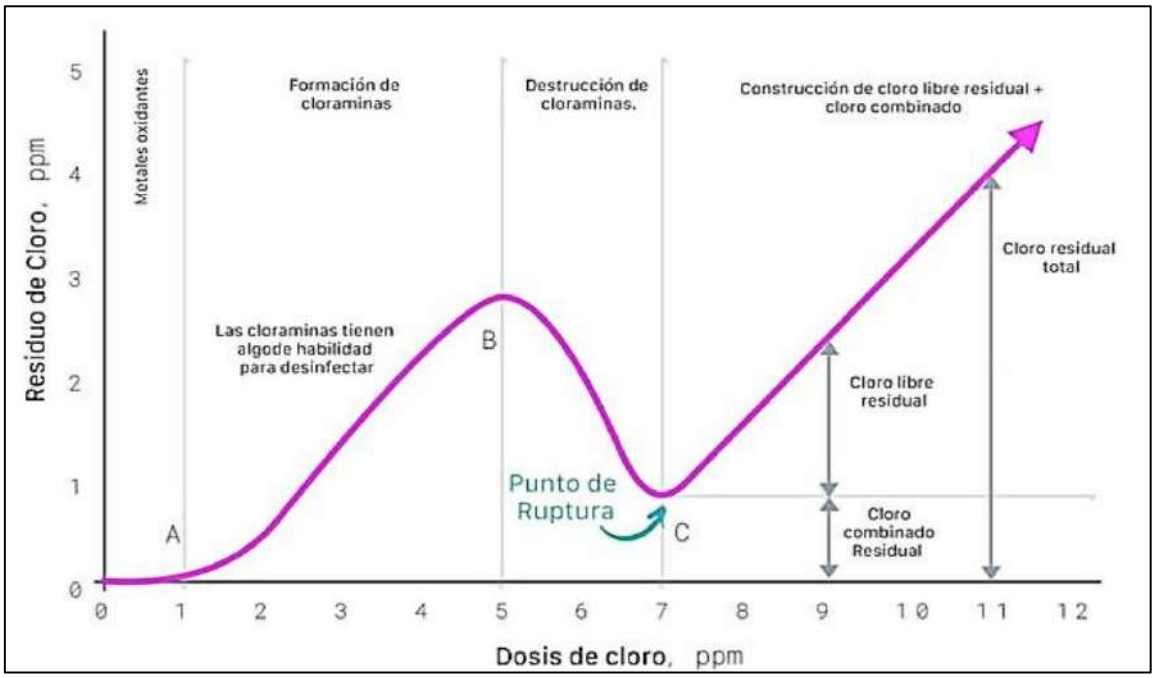
2.2.3.7 Punto de ruptura de cloración

La guía técnica de Núñez (2024) expone la evolución progresiva del cloro al ser añadido al agua a través de cuatro fases progresivas (Figura 2), las cuales se distinguen por la naturaleza de las reacciones que ocurren y por el tipo de residual que se genera en cada momento.

1. La primera de estas fases implica la oxidación de las sustancias reductoras de carácter inorgánico (desde el punto 0 a A), como el hierro ferroso, el manganeso o el sulfuro de hidrógeno, y durante este proceso la totalidad del hipoclorito que se aplica es consumida, razón por la cual no queda ningún remanente de cloro disponible en el agua (Núñez, 2024).

Figura 2

Representación del punto de ruptura de cloración



Nota. Recuerdo de Núñez (2024, p. 8).

2. Posteriormente, una vez que las impurezas inorgánicas han sido totalmente oxidadas, el cloro que se sigue añadiendo pasa a reaccionar con la materia orgánica disuelta (del punto A al B), para dar lugar a la formación de compuestos orgánicos clorados, entre los cuales destacan principalmente las cloraminas, compuestos que, sin embargo, presentan una capacidad desinfectante notablemente reducida (Núñez, 2024).
3. Cuando las cloraminas han reaccionado completamente y se alcanza el punto máximo de su formación (punto B), el proceso inicia una etapa de destrucción de dichos compuestos clorados (del punto B a C), de modo que al agregar más cloro se observa una disminución del residual disponible, ya que el cloro se consume tanto en la degradación de las cloraminas como en la reacción con el hipoclorito recién añadido (Núñez, 2024).

4. Finalmente, una vez superado el punto de ruptura (punto C), la totalidad del cloro añadido se conserva en su totalidad como cloro residual libre, siendo a partir de esta etapa cuando se considera que la desinfección ha sido completada y que se garantiza la eliminación definitiva de los contaminantes microbiológicos (Núñez, 2024).

2.2.3.8 Muestreo en sistemas de distribución

El muestreo estratificado es una práctica de gran efectividad en los sistemas de distribución, aunque su implementación requiere una elección precisa de los puntos de muestreo y de su periodicidad. Dichos puntos, a su vez, serán definidos en función del sistema de abastecimiento, de los riesgos microbiológicos y de la potencial dispersión de contaminantes a lo largo de la red (OMS, 2018).

2.2.3.9 Efecto de la intermitencia y la presión en el cloro residual.

La OMS (2018) señala que la relación entre la continuidad del servicio y la calidad microbiológica del agua reviste un carácter crítico, advirtiendo que los sistemas de abastecimiento intermitente conllevan riesgos significativos, ya que, cuando el suministro es discontinuo, el descenso consiguiente de la presión posibilita la intrusión de agua no tratada a través de fisuras, grietas, juntas y orificios de pequeño calibre, y aunque esta modalidad de servicio no es recomendable, constituye una práctica frecuente en numerosos países y suele hallarse asociada a episodios de contaminación del recurso hídrico; además, la misma entidad precisa que la preservación del residual no depende únicamente de la dosis inicial aplicada, sino que está condicionada por la demanda de agentes oxidantes presente en el sistema, de modo que las dificultades para sostener los niveles residuales en ciertos tramos de la red, o su declive paulatino, pueden ser indicativos de una elevada exigencia de compuestos oxidantes en el agua o en el interior de las tuberías, fenómeno originado por la actividad bacteriana, lo cual explica que, al restablecerse el flujo tras una interrupción del

servicio, los sedimentos y biopelículas arrastrados por la corriente consuman el cloro disponible, reduciendo así su eficacia desinfectante.

2.2.3.10 Tiempo de contacto y monitoreo

La OMS (2018) sostiene que las tareas de monitoreo operacional se basan en observaciones y mediciones sistemáticas dirigidas a confirmar la correcta operatividad de los controles implementados en los sistemas que abastecen agua, e incluyen la verificación de parámetros incluyendo la turbidez, el residual de cloro y la condición estructural de los componentes hidráulicos.

Por otro lado, la guía de Núñez (2024) centra su atención en el factor tiempo, señalando que la efectividad de la desinfección depende del periodo de exposición entre el desinfectante y el líquido, periodo que en condiciones ordinarias debe extenderse como mínimo a 30 minutos para asegurar la inactivación de las bacterias y virus más frecuentes, aunque esta duración puede variar en función de la temperatura y del nivel de pH presentes en el agua.

2.2.4 Marco normativo internacional sobre calidad del agua para consumo humano

2.2.4.1 El enfoque de gestión preventiva y los Planes de Seguridad del Agua (PSA)

La OMS (2018) establece que el requisito fundamental para garantizar la seguridad del agua es la implementación de un marco integral que va más allá del simple análisis de laboratorio, señalando que los elementos básicos e indispensables para asegurar la potabilidad del agua de consumo humano consisten en un esquema de gestión que comprende objetivos de protección sanitaria fijados por la autoridad competente en materia de salud, sistemas de abastecimiento adecuados y correctamente operados, lo cual incluye

infraestructuras apropiadas, monitoreo riguroso y planificación eficaz, así como un mecanismo de vigilancia autónomo que garantice el control externo del proceso.

Por su parte, la normativa peruana, a través del D.S. N° 031-2010-SA, establece en su Título II que la gestión de la calidad del agua se desarrolla mediante dos líneas de acción: la vigilancia sanitaria del agua para consumo humano y el control y supervisión de su calidad (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2011); esta estructura, según el autor, guarda correspondencia con el enfoque de la OMS, al consolidar una separación de roles entre la entidad que supervisa y la que ejecuta el control.

2.2.4.2 Valor de referencia de la OMS

De acuerdo con la OMS (2018), ciertos elementos de origen natural carecen de valores de referencia establecidos por dicha entidad, más detalles se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Criterios de la OMS para la evaluación de parámetros organolépticos, físicos y químicos del agua de consumo humano

Parámetro	Análisis
Olor	Agradable al consumidor
Sabor	Agradable al consumidor
Turbiedad	La turbidez constituye un factor determinante que incide tanto sobre los procesos de desinfección como sobre la percepción sensorial del agua, y si bien las grandes plantas de tratamiento están obligadas a suministrar agua sin turbidez perceptible, alcanzando valores de 0,5 UNT antes de la desinfección y promedios de 0,2 UNT, los sistemas de abastecimiento más pequeños suelen enfrentar limitaciones técnicas que les impiden alcanzar esos estándares; de igual manera, para garantizar una eficiencia óptima en la desinfección se recomienda mantener niveles por debajo de 1 UNT, aunque cuando esto no resulta viable se acepta un límite práctico de 5 UNT, debiéndose además

	asegurar un cloro residual libre superior a 0,2 mg/L en la red de distribución, tomando en cuenta que por debajo de las 4 UNT la turbidez solo puede ser detectada mediante instrumentación especializada, mientras que al superar ese umbral se convierte en una alteración visible de distintas coloraciones.
Conductividad (25 °C)	Los valores obtenidos al medir la conductividad guardan una equivalencia directa con los TDS.
pH*	El pH es de gran importancia operativa en el control de la calidad del agua, aunque los valores que normalmente se presentan en el agua de consumo no ocasionan efectos adversos sobre la salud de los usuarios.
TDS*	La dureza y los sólidos disueltos totales, si bien no representan un peligro para la salud, pueden llegar a condicionar el criterio de aceptabilidad en su consumo por los usuarios.
Dureza total*	
Cloro residual	Para que la desinfección sea efectiva se requiere un pH inferior a 8,0 y un tiempo de contacto de por lo menos 30 minutos, lo cual permite obtener un cloro residual libre no inferior a 0,5 mg/L que debe mantenerse constante a través de la red, garantizando así que en el punto final de suministro el residual no descienda por debajo de los 0,2 mg/L

Nota. * No poseen Valor de Referencia de la OMS.. Recopilado de OMS (2018, pp. 166, 210, 211, 222, 268)

2.2.5 Marco normativo para la calidad del agua para consumo humano en el Perú

Para comprender la aplicabilidad del reglamento peruano, es necesario partir de la definición que la OMS (2018) otorga a los roles operativos, pues la entidad internacional sostiene que existe una diferencia esencial entre las funciones de los proveedores y las de las autoridades sanitarias, precisando que los abastecedores de agua para consumo humano son responsables en todo momento de la calidad e inocuidad del agua que distribuyen, mientras que la vigilancia se concibe como un proceso de seguimiento continuo y detallado de la salud pública, que incluye el examen de la seguridad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo.

Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

La calidad del agua potable viene siendo regulada por el D.S. N° 031-2010-SA. La DIGESA (2011) con el objeto de asegurar que el agua destinada al consumo carezca de agentes nocivos, evitar la exposición a contingencias de origen sanitario, y salvaguardar y fomentar el estado de salud y el bienestar de los ciudadanos, dicho instrumento normativo fija los lineamientos generales aplicables a la administración de la potabilidad del recurso hídrico.

2.2.5.1 Parámetros de control obligatorio (PCO)

Todo abastecedor de agua se encuentra en la obligación de monitorear los indicadores que el reglamento señala en su Artículo 63, los cuales quedan definidos como de cumplimiento forzoso para la totalidad de los suministradores; estos son: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, Color, Turbiedad, Residual de desinfectante y pH (DIGESA, 2011).

2.2.5.2 Límites máximos permisibles para parámetros organolépticos

La base científica para establecer los valores de referencia no es arbitraria, sino que responde a un cálculo de riesgo sanitario. En ese contexto, la OMS (2018) utiliza el indicador de Años de Vida Ajustados en función de la Discapacidad (AVAD) para definir la carga de enfermedad tolerable, estableciendo que el límite superior de carga de morbilidad aceptable es de 10^{-6} AVAD por persona al año, lo cual equivale, en términos de riesgo de cáncer a lo largo de la vida, a un valor aproximado de 10^{-5}, umbral que la guía emplea como referencia para determinar los valores límite de los carcinógenos genotóxicos.

A pesar de que numerosos parámetros organolépticos carecen de un valor de referencia basado en efectos agudos sobre la salud, la OMS (2018) destaca su relevancia en

la percepción que los usuarios tienen del agua, pues los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo principalmente a través de los sentidos, de manera que el agua con elevada turbidez, coloración intensa o sabores y olores desagradables puede ser considerada insalubre y, en consecuencia, rechazada. Esta consideración valida metodológicamente la inclusión de la prueba hedónica de 9 puntos utilizada en el presente estudio.

Conforme al Artículo 61 del reglamento, el Anexo II fija los LMP aplicables a los parámetros de naturaleza organoléptica. En tal sentido, se establece que, por cada monitoreo ejecutado conforme al plan de control, el 90 % de las muestras recolectadas en la red de distribución, aquellas correspondientes a los indicadores químicos que inciden en la calidad estética y sensorial del agua para beber, no podrán superar los valores o concentraciones que figuran en el citado Anexo II (DIGESA, 2011). Los LMP que establece D.S. N° 031-2010-SA se indican en el Anexo 3 y 4.

2.2.5.3 Control del desinfectante y cloro residual

El Artículo 66 del reglamento establece los requisitos que rigen los procesos de desinfección y la presencia de cloro residual en el agua, por lo que, en lo que atañe al empleo de cloro o soluciones cloradas, se exige que mensualmente el 90 % de las tomas de muestra realizadas en cualquier lugar de la red de distribución registren concentraciones de cloro residual libre superiores o iguales a 0,5 mg/L, en tanto que del 10 % restante ninguna podrá descender por debajo de 0,3 mg/L, debiendo la turbiedad mantenerse en niveles inferiores a 5 UNT; además, previamente a la entrada en servicio del agua para el consumo, el abastecedor tiene la obligación de aplicar un agente desinfectante de comprobada eficacia, con la doble finalidad de erradicar la totalidad de microorganismos y de preservar un residual que sirva de barrera frente a eventuales recontaminaciones durante la distribución. (DIGESA, 2011).

Cuando los análisis de caracterización del agua (ya sea en los puntos críticos de control, en las tomas de muestra del Plan de Control de Calidad (PCC), o como resultado de las labores de vigilancia, supervisión o estudios de cuenca) detecten la presencia de alguno de los parámetros que el Artículo 64 de DIGESA (2011) enumera, siempre que dichos valores excedan los LMP establecidos, tales parámetros pasarán a formar parte de los Parámetros Adicionales de Control Obligatorio (PACO) junto con los ya contemplados en la normativa, los cuales se agrupan en cuatro categorías en: 1. Microbiológicos, 2. Organolépticos, 3. Inorgánicos y 4. radiactivos (DIGESA, 2011).

2.2.5.4 Responsabilidades del proveedor y control de calidad

El artículo 22 del reglamento exige que el abastecedor de agua potable diseñe e implemente un PCC, cuyo sustento radica en la detección de amenazas, la cuantificación de los peligros y la definición de estrategias para su mitigación, además de la localización de los puntos donde la supervisión deviene prioritaria; y el artículo 19 dispone que la gestión de la potabilidad del agua para beber es una atribución directa del prestador, quien, a través de sus protocolos operativos, vela por la observancia de los preceptos sanitarios del marco normativo y, mediante prácticas de verificación interna, identifica desviaciones y aplica los ajustes necesarios para resguardar la salubridad del recurso que distribuye; en paralelo, los artículos 20 y 21 confieren la función de fiscalización a la Autoridad de Salud, a la SUNASS y a los gobiernos locales, aunque subrayan que la vigilancia autónoma de la calidad del agua es una obligación indelegable del suministrador; finalmente, el artículo 26 consolida esta carga obligacional al establecer que el representante legal de la entidad prestadora y el profesional a cargo del monitoreo de la calidad asumen, en forma conjunta e indivisible, la responsabilidad por la pureza e inocuidad del agua que se entrega para el uso de las personas (DIGESA, 2011).

2.2.5.5 Vigilancia y fiscalización sanitaria

La vigilancia sanitaria, que el artículo 13 conceptualiza como el ordenamiento metódico de un conjunto de tareas que la Autoridad de Salud ejecuta con el fin de detectar y valorar los peligros potenciales existentes en las redes de provisión de agua para beber, desde el origen del recurso hasta su distribución final al usuario, con la mira puesta en proteger la integridad física de los consumidores y en hacer efectivo el acatamiento de lo prescrito en la norma, se articula con la fiscalización sanitaria contemplada en el artículo 29, la cual comprende cualquier procedimiento de vigilancia o notificación que ponga de manifiesto un eventual quebrantamiento de lo establecido en el ordenamiento jurídico, y que, como resultado, active las medidas sancionadoras por parte de la Autoridad de Salud (DIGESA, 2011).

2.3 Bases filosóficas

Para Velayos-Castelo (2017) sostiene que la racionalidad humana y la capacidad de pensamiento abstracto no pueden desarrollarse ni subsistir al margen del entorno ecológico que los rodea, ya que la vida misma y todas sus manifestaciones dependen de la interacción con los demás componentes de esa comunidad biótica que compartimos, y sin embargo, al exaltar de manera desmedida nuestra condición racional, tendemos a pasar por alto que nuestra existencia y nuestro desarrollo intelectual están indisolublemente ligados a ese entramado natural que habitamos, lo que nos lleva a ignorar nuestra pertenencia a una casa común de la que somos parte y no dueños.

Hernández et al. (2012) señalan que el concepto de salud y enfermedad no es estático, sino que ha experimentado una evolución paralela al desarrollo histórico de la humanidad, y dicha evolución se encuentra condicionada por las circunstancias socioeconómicas de cada sociedad y por el entorno en el cual se establecen las relaciones humanas; de este modo, las

modificaciones que el ser humano introduce en el medio ambiente originan alteraciones en el modo de vida de las personas, y estos cambios suelen manifestarse de manera desfavorable en el proceso de salud-enfermedad, ya que el deterioro ambiental afecta directamente el bienestar de la población.

2.4 Definición de términos básicos

Agua de consumo humano

DIGESA (2011) “Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal” (p. 10).

Dosis de Cloro

Núñez (2024) “Cantidad de cloro que se añade al agua problema para garantizar su desinfección y acción residual” (p. 6).

Demanda de Cloro

Núñez (2024) “Cantidad de cloro que se debe añadir al agua problema para eliminar las diversas sustancias presentes en el agua que consumen cloro o reaccionan con él durante el proceso de desinfección. Estas sustancias pueden incluir materia orgánica, amoníaco y otros compuestos que compiten con los patógenos por el cloro” (p. 6).

Cloro Residual Libre

Núñez (2024) “Cloro disponible en el agua después de que haya reaccionado con las sustancias presentes” (p. 6).

Consumidor

DIGESA (2011) “Persona que hace uso del agua suministrada por el proveedor para su consumo” (p. 10).

Equipo multiparamétrico

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) define “Instrumento que mide simultáneamente varios parámetros como pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto” (p. 83).

In situ

ANA (2016) define “En el lugar, en el sitio” (p. 84).

Límite Máximo Permisible

ANA (2016) define:

> Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que corresponde a los niveles de tratamiento de aguas residuales alcanzables con las mejores técnicas disponibles y económicamente viables. (p. 85)

Monitoreo

DIGESA (2011) “Seguimiento y verificación de parámetros físicos, químicos, microbiológicos u otros señalados en el presente Reglamento, y de factores de riesgo en los sistemas de abastecimiento del agua” (p. 10).

Muestra de agua

ANA (2016) define “Parte representativa del material a estudiar (para este caso agua natural superficial) en la cual se analizarán los parámetros de interés” (p. 85).

Parámetros de calidad

ANA (2016) define “compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad del agua” (p. 85).

Protocolo de monitoreo

ANA (2016) define “Documento guía que contiene instrucciones y procedimientos establecidos para realizar un monitoreo. Describe un método estandarizado para minimizar errores debido a la medición, transporte y análisis” (p. 85).

Punto de monitoreo

ANA (2016) define “ubicación geográfica en una zona específica de un cuerpo de agua donde se realiza la toma de muestras de parámetros para la determinación de la calidad del agua” (p. 86).

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

Los parámetros organolépticos evaluados y el cloro residual del agua potable en las viviendas de Huaral cumplen con los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA, y presentan variaciones significativas según la ubicación geográfica de la vivienda (zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas como punto de referencia) durante diciembre de 2022.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable cumplen con los LMP establecidos en el D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022.
- El contenido de cloro residual del agua potable cumple con los LMP establecidos en el D.S. Nº 031-2010-SA (Art. 66: 0,5-5 mg/L, en el 90% de muestras, ninguno <0,3 mg/L) en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022.
- Existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.

2.6 Operacionalización de las variables

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indica que se fundamenta en sus definiciones conceptuales y operacionales, y que el recorrido lógico para construirla consiste en pasar de la variable a sus dimensiones, y de estos a indicadores para finalmente llegar a los ítems, aunque en algunos casos este tránsito puede ser directo de la variable a los ítems.

Bajo este criterio, el estudio ha operacionalizado la variable central definiendo sus dimensiones (ubicación, parámetros organolépticos y cloro residual), sus indicadores de medición y las escalas correspondientes, lo cual se resume en la Tabla 2, donde además se consignan las definiciones conceptuales y a su vez las operacionales que guiaron la recolección de datos en campo.

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Valor final	Escala	
Variable de caracterización 1. Parámetros organolépticos y cloro residual del agua potable	DIGESA (2011) los parámetros organolépticos "Son los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial" (p. 10). El cloro residual libre "Cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito que debe quedar en el agua de consumo humano para proteger de posible contaminación microbiológica, posterior a la cloración como parte del tratamiento" (p. 10).	Para el muestreo, se siguió en lo señalado en la RD N° 160-2015/DIGESA/SA, se georreferenciaron los puntos de monitoreo en coordenadas UTM para, sobre ellos, efectuar tanto las evaluaciones sensoriales del olor y sabor mediante una prueba hedónica dirigida a los usuarios como los análisis instrumentales de la turbiedad, el pH, TDS, conductividad, la dureza total y el cloro residual.		1.1 Vivienda	– Ubicación desde la plaza de Armas	Este, Centro, Oeste	• Nominal
				1.2 Parámetros organoléptica	• Olor • Sabor • Turbiedad • pH • TDS • Conductividad • Dureza Total	Aceptable/inaceptable Aceptable/inaceptable UNT Valor de pH mg/L uS/cm mg $CaCO_3$/L	• Nominal • Nominal • Razón • Intervalo • Razón • Razón • Razón
				1.3 Cloro residual	• Cloro residual	mg/L	Razón
Variable de interés 2. Evaluación de parámetros organolépticos y cloro residual del agua potable	DIGESA (2011) "El noventa por ciento (90%) de las muestras tomadas en la red de distribución en cada monitoreo establecido en el plan de control, correspondientes a los parámetros químicos que afectan la calidad estética y organoléptica del agua para consumo humano, no deben exceder las concentraciones o valores señalados …" (p. 28). "en caso de usar cloro o solución clorada como desinfectante, las muestras tomadas en cualquier punto de la red de distribución, no deberán contener menos de 0.5 mgL-1 de cloro residual libre en el noventa por ciento (90%) del total de muestras tomadas durante un mes. Del diez por ciento (10%) restante, ninguna debe contener menos de 0.3 mgL-1 y la turbiedad deberá ser menor de 5 unidad nefelométrica de turbiedad (UNT)" (p. 29).	Se realizaron dos evaluaciones, una para evidenciar el comportamiento de la calidad de los parámetros evaluados en la ciudad, y la otra de comparación del cumplimiento de los parámetros estudiados respecto al LMP de la norma en la muestra seleccionada.		2.1 Evaluación de parámetros organolépticos	• Comparación de los parámetros organolépticos respecto al LMP del D S N° 031-2010-SA	Cumple Incumple	• Nominal
					• Comparación de los parámetros organolépticos entre viviendas zona Este, Centro y Oeste	Iguales diferentes	• Nominal
				2.2 Evaluación del cloro residual	• Comparación del cloro residual respecto al LMP del D S N° 031-2010-SA	Cumple Incumple	• Nominal
					• Comparación del cloro residual entre viviendas zona Este, Centro y Oeste	Iguales diferentes	• Nominal

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

Prospectivo

Tomando como base el principio establecido por la Sociedad Hispana de Investigadores Científicos (SINCIE, 2021a), la investigación se clasifica como prospectiva. Puesto que el control sobre la medición de las variables fue ejercido directamente por el investigador en campo durante la planificación del proceso de recolección, llevándose a cabo todas las determinaciones de los parámetros organolépticos y del cloro residual en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022, de manera programada, sin necesidad de acudir a registros históricos previos tal como ocurriría en un estudio de carácter retrospectivo.

Transversal

De acuerdo con la clasificación de SINCIE (2021a) basada en el número de mediciones, la investigación se define como transversal. Debido a que el muestreo de agua en cada una de las viviendas seleccionadas se ejecutó en una única oportunidad a lo largo del mes de diciembre, capturando así un momento del estado de los parámetros analizados en ese periodo específico, sin extenderse en un seguimiento longitudinal que implicaría múltiples tomas de datos en momentos distintos.

Observacional

Siguiendo el criterio de intervención del investigador propuesto por SINCIE (2021a), la investigación es de carácter observacional. Ya que el investigador se limitó a medir y registrar los parámetros del agua potable en las viviendas de Huaral tal como se presentaban en su estado natural, sin aplicar ningún tipo de tratamiento experimental, modificación del sistema de abastecimiento o intervención sobre las condiciones del agua, por lo cual la observación y el registro se efectuaron sin alterar el fenómeno estudiado.

Descriptivo

De acuerdo con SINCIE (2021a) que distingue entre estudios descriptivos y analíticos según el número de variables involucradas; La presente investigación es de tipo descriptivo, ya que su propósito consiste en caracterizar y exponer el estado real de los parámetros organolépticos evaluados y del cloro residual, contrastando los valores medidos en campo y laboratorio con los LMP establecidos en la normativa, sin aspirar a establecer relaciones causales o correlaciones entre múltiples factores tal como lo haría un estudio de carácter analítico.

Aplicado

Tal como lo sostiene Vara (2015), la decisión de calificar una investigación como básica o aplicada depende de la creatividad y del enfoque que el investigador le otorgue. En ese sentido, la investigación es de tipo aplicado, al buscar ofrecer un diagnóstico técnico sobre la calidad del agua potable en Huaral que sirva como insumo práctico para futuras investigaciones, permitiendo así abordar una problemática tangible que afecta a los usuarios; de esta manera, los resultados obtenidos pretenden tener una utilidad directa y concreta en el contexto local.

3.1.2 Nivel de investigación

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) definen el estudio descriptivo como aquel que se orienta a detallar las propiedades, características y perfiles de personas, procesos o fenómenos, mediante la selección de variables y la recolección de información específica sobre cada una de ellas para representar lo que se investiga.

Por ello, esta investigación se enmarca en el nivel descriptivo, al medir, registrar y describir el estado de los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable en las viviendas de Huaral, contrastándolos con la normativa vigente sin pretender establecer relaciones de causa y efecto entre los datos obtenidos.

3.1.3 Enfoque de investigación

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que el enfoque cuantitativo sigue una serie de pasos ordenados que van desde la delimitación de la idea y el planteamiento de hipótesis, hasta el diseño del plan de medición, la recolección de datos numéricos, su análisis estadístico y la formulación de conclusiones.

En ese sentido, el estudio adopta una ruta cuantitativa, porque se basa en la medición de variables cuantificables, el uso de métodos estadísticos para el análisis de los datos y la contrastación de hipótesis específicas relacionadas con el cumplimiento de la normativa sanitaria vigente.

3.1.4 Diseño de investigación

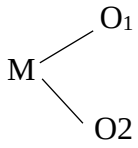
Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) sobre el diseño de investigación sostiene que constituye el plan estratégico que se desarrolla para obtener los datos que permitan responder al problema planteado, y que un diseño bien elaborado incrementa las posibilidades de que

los resultados aporten conocimiento valioso; asimismo, indican que los diseños transversales recolectan información en un único momento y que, dentro de ellos, los estudios descriptivos buscan evaluar el estado de una o más variables en una población en ese tiempo específico.

Por ello, el diseño corresponde al no experimental, transversal y descriptivo; no experimental porque no se interviene sobre las variables; transversal porque las mediciones se efectuaron en un solo periodo; y descriptivo al limitarse solo a describir el comportamiento de los parámetros evaluados frente a la normativa y las zonas de estudio, sin analizar relaciones de causalidad. En la Figura 3, se muestra el diseño seguido.

Figura 3

Diseño no experimental transversal descriptivo



M: Muestra de agua potable (Zona Este, Centro y Oeste).

O_1: Medición de parámetros organolépticos.

O_2: Medición de cloro residual.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que una investigación de calidad no depende del tamaño de la población, más bien de cuan claro se definen sus características; por ello, recomiendan delimitar la población según su contenido, lugar, tiempo y accesibilidad, en función del planteamiento del problema, evitando la suposición de que la muestra la representa automáticamente.

En base a ello, la población del estudio está constituida por el agua potable que consumen las viviendas de Huaral desde la red de distribución en diciembre de 2022.

Quedando así delimitados el contenido (agua potable), lugar (Huaral) y tiempo (diciembre de 2022), lo cual garantiza la accesibilidad necesaria para la recolección de los datos.

3.2.2 Muestra

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) explican que el empleo de muestras constituye una práctica habitual en la mayoría de los estudios debido a limitaciones de tiempo y recursos, y distinguen entre el muestreo probabilístico, que permite generalizar los resultados a toda la población siempre que la muestra sea representativa, y el muestreo no probabilístico, donde la selección de las unidades obedece a razones vinculadas con el contexto y las características particulares de la investigación; los mismos autores señalan que únicamente se recurre a un censo cuando se pretende incluir en el análisis a la totalidad de los casos que conforman el universo o población de interés, mientras que, en la ruta cuantitativa, la muestra se define como parte de la población donde se recolectan los datos pertinentes.

Atendiendo a estos fundamentos teóricos, la muestra del presente estudio está conformada por el agua potable que consumen 15 viviendas de la ciudad de Huaral a través de la red de distribución durante el mes de diciembre de 2022; el tipo de muestreo seleccionado ha sido no probabilístico, complementado con una estratificación intencional que divide las viviendas en tres grupos según su ubicación respecto a la plaza de armas: Este, Centro y Oeste.

Desde una perspectiva de ingeniería, la elección de un muestreo no probabilístico y estratificado responde a la naturaleza del estudio, cuyo objetivo no es la extrapolación estadística de los resultados a toda la población de Huaral, sino la obtención de un diagnóstico técnico representativo que permita evaluar el comportamiento de los parámetros

organolépticos y cloro residual en viviendas de Huaral; esta segmentación geográfica permite reflejar la variabilidad espacial existente en el sistema de abastecimiento y asegurar que la muestra capte las condiciones reales del agua en las zonas de mayor interés para la gestión sanitaria.

Criterios de inclusión:

- Viviendas de la ciudad de Huaral que poseen el suministro de agua potable.
- Viviendas en las cuales se esté suministrando agua potable de manera regular y que sus residentes convivan frecuentemente en sus viviendas.
- Propietarios que hayan otorgado su consentimiento informado por escrito y de manera voluntaria.

Criterios de exclusión:

- Viviendas cuyos propietarios hayan manifestado su negativa expresa a participar en la investigación.

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Técnicas utilizadas

a) Observación

SINCIE (2021b) señala que la observación consiste en el registro de fenómenos o conductas sin que el investigador modifique su entorno, apoyándose en los sentidos o en instrumentos de medición para obtener datos objetivos en el momento mismo de su ocurrencia; por ello, esta técnica se aplicó mediante el uso de equipos de campo como el multiparámetro, turbidímetro y colorímetro, los cuales permitieron medir directamente los parámetros (turbiedad, pH, TDS, conductividad, cloro residual) en cada punto de monitoreo

sin alterar las condiciones del agua suministrada, y el análisis en laboratorio de la Dureza Total, mediante el Kit de Prueba de Dureza.

b) Encuesta

Según SINCIE (2021b) considera a la encuesta como una técnica para recolectar datos basada en un conjunto de preguntas estandarizadas aplicadas a una muestra, con objeto de conocer sus percepciones, opiniones o características subjetivas. En ese sentido, en esta investigación se empleó un cuestionario dirigido a los usuarios para recoger su percepción sobre el olor, el sabor, la presencia de cloro y la calidad general del agua potable, así como otras percepciones relacionadas con el servicio de abastecimiento, como la continuidad del suministro y los problemas recurrentes que han identificado en el servicio.

3.3.2 Detalle de los instrumentos

- Celular, para la captura de imágenes que presenten las vivienda monitoreada en coordenadas UTM.
- Colorímetro portátil multiparamétrico DR900, para la medición del cloro residual.
- Medidor Multiparamétrico Portátil YSI Professional Plus, para la medición de pH, Conductividad y TDS.
- Kit de Prueba de Dureza HI 3812 para el análisis de dureza total.
- Cuestionario para medir la percepción de la población sobre los parámetros organolépticos de olor y sabor del agua potable, mediante la escala hedónica mostrada en la Figura 4.

Figura 4

Escala de la prueba hedónica con escala de 9 puntos



Nota. Adaptado de Ramírez-Navas (2012).

3.3.3 Procedimiento de recolección de datos

La recogida de datos de campo se efectuó siguiendo un procedimiento sistemático y secuencial, el cual se resume en el esquema de la Figura 5 y consta de las siguientes etapas:

- **Paso 1: Delimitación de las zonas de muestreo**

  Se ubicó en un mapa satelital la ciudad de Huaral; a partir de este punto de referencia, se delimitaron tres sectores geográficos para el monitoreo, clasificándose en viviendas respecto a la Plaza de Armas como Zona Este, Zona Centro y Zona Oeste.

- **Paso 2: Identificación y selección de viviendas**

  Se procedió a identificar las calles correspondientes a cada una de las zonas delimitadas; posteriormente, se seleccionaron 15 viviendas que cumplieran con el criterio de inclusión establecidos y cuyos propietarios aceptaron participar voluntariamente mediante la firma del consentimiento informado; cada vivienda fue codificada y georreferenciada mediante coordenadas UTM (Zona 18S).

- **Paso 3: Toma de muestras de agua**

  En cada vivienda seleccionada, se solicitó al usuario que muestree el agua potable del punto de consumo en su hogar; indicándole que antes de la toma de la muestra, deben dejar escurrir durante 5 minutos para purgar la tubería y asegurar que la muestra refleje el valor representativo a la que llega a su vivienda; debiendo el recipiente de recolección enjuagado previamente con el mismo agua a muestrear; indicándole que evite la formación de burbujas por exceso de apertura.

- **Paso 4: Análisis de los parámetros**

  Inmediatamente después de la toma de muestra, se procedió a analizar los parámetros organolépticos (pH, TDS, conductividad, turbiedad) y el cloro residual, utilizando los instrumentos descritos anteriormente; la dureza total fue envidad para su análisis en Laboratorio. Los análisis siguieron las metodologías específicas para cada parámetro, de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes de los equipos y los protocolos estandarizados para el análisis de agua potable.

Figura 5

Etapas para la recolección de datos



3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Tras la recolección de datos en campo y aplicadas las encuestas a los usuarios, y de laboratorio, se procedió al procesamiento y análisis de la información siguiendo las siguientes técnicas:

a) Organización y depuración de la base de datos

Los análisis fisicoquímicos y sensoriales fueron transcritos a una base de datos en una hoja de cálculo, donde se organizaron las variables por código de muestra y zona de ubicación (Este, Centro y Oeste), asegurando la integridad de los registros para su posterior tratamiento estadístico.

b) Identificación de los puntos de monitoreo en las zonas

Los datos recolectados de cada vivienda, se distribuyeron en las tres zonas de estudio, elaborándose un mapa de distribución, el cual permitió visualizar las zonas evaluadas en la ciudad de Huaral, con especial énfasis en el comportamiento del cloro residual.

c) Análisis estadístico de los parámetros

- **Análisis de normalidad**

  Se efectuó con la prueba de *Shapiro-Wilk* a los datos recolectados para determinar la distribución de cada variable (normal o no normal), con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

- **Pruebas de cumplimiento normativo**

  Para contrastar los valores medidos con el LMP del D.S. N° 031-2010-SA, se emplearon la prueba de Rangos con signo de Wilcoxon para una muestra (para

variables con distribución no normal) y la prueba t de Student para una muestra (para variables con distribución normal).

- **Pruebas de comparación por zonas**

  Para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las viviendas de la zona Este, Centro y Oeste, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes, al tratarse de tres grupos comparativos con un tamaño de muestra reducido.

- **Prueba de cumplimiento del cloro residual**

  Dado que el Art. 66 del D.S. N° 031-2010-SA establece un estándar porcentual (90 % de las muestras con cloro ≥ 0,5 mg/L) y un valor mínimo absoluto (ninguna muestra < 0,3 mg/L), el contraste se realizó mediante la Prueba Binomial Exacta de una Proporción (con un valor de prueba de 0,90), complementado con el análisis de los valores mínimos registrados.

c) Elaboración de tablas y figuras

Los resultados obtenidos fueron representados mediante tablas de frecuencia y gráficos de barras, líneas y tortas, elaborados con una hoja de cálculo, para facilitar la interpretación de los hallazgos y la interpretación de resultados y la contrastación de las hipótesis planteadas. Todas las pruebas estadísticas se ejecutaron considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, con un intervalo de confianza del 95 %.

CAPITULO IV
RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

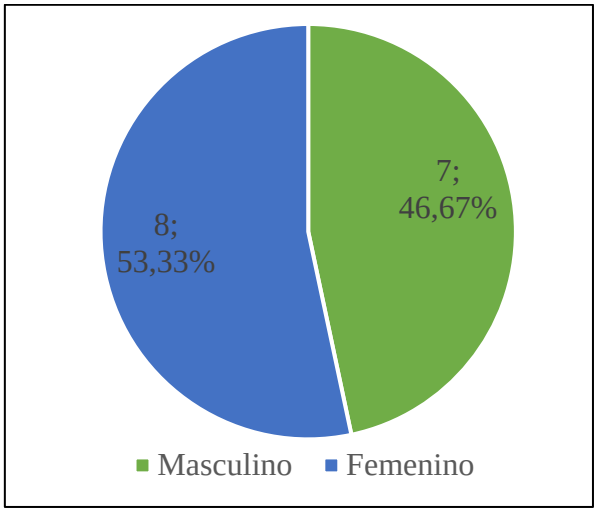
4.1.1 Información y percepciones de los usuarios encuestados

a) Género de los usuarios

Con objeto de garantizar una percepción equitativa de los usuarios en la ciudad de Huaral, se procedió a recopilar información sociodemográfica de los jefes de hogar o responsables de las 15 viviendas seleccionadas en el estudio. Dado que la percepción de los parámetros organolépticos (especialmente olor y sabor) puede estar influida por el rol que cumple el encuestado dentro del hogar, se buscó tener una muestra balanceada entre ambos géneros que permita contrastar las percepciones de forma imparcial. En la Figura 6, se muestra la proporción de encuestados por género.

Figura 6

Usuarios encuestados por género



De acuerdo a la Figura 6, se puede apreciar que la muestra encuestada estuvo conformada por 8 participantes del género femenino, lo que representa el 53,33 % del total, mientras que 7 participantes fueron del género masculino, representando el 46,67 %. Esta distribución porcentual evidencia que la encuesta tuvo una participación casi paritaria entre ambos géneros.

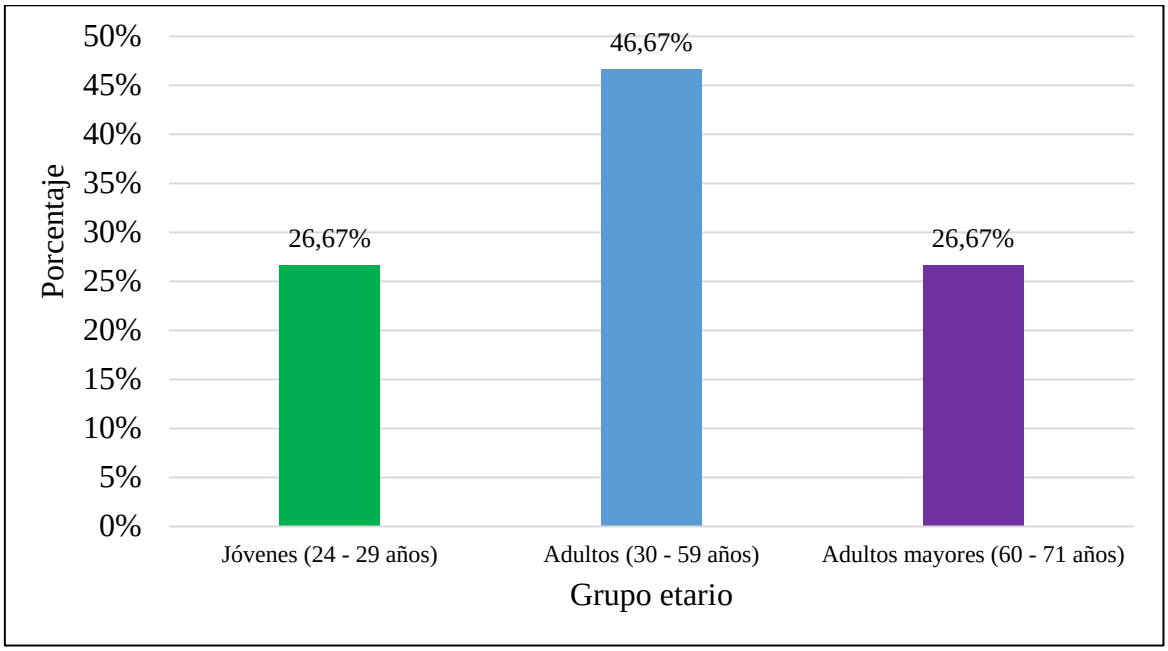
En este contexto, al tener una representación femenina ligeramente mayor (53,33 %), se logra capturar la perspectiva de quienes, en muchos hogares del Perú, son las principales responsables en el uso y manipulación del agua potable. Por otro lado, la representación masculina, aunque levemente inferior, aporta una visión complementaria. Esta equidad en la muestra fortalece los hallazgos sobre la percepción de las características organolépticas (olor, sabor, turbiedad) y el cloro residual del agua; demostrando que la evaluación organoléptica de la calidad del agua en las 15 viviendas de Huaral no está sesgada por el género, sino que es el reflejo de una percepción compartida por los usuarios de la red de distribución.

b) Edad de los usuarios encuestados

Para complementar el perfil sociodemográfico de los participantes, se registró la edad de los jefes de hogar o responsables. Conocer la edad de los usuarios es relevante en el contexto de esta investigación, ya que los rangos etarios pueden influir en la sensibilidad y percepción de los parámetros organolépticos (olor, sabor) y en la tolerancia a ciertos niveles de cloro residual. A continuación, se muestra la distribución por rangos de edad de los encuestados (Figura 7).

Figura 7

Distribución de los usuarios encuestados por rangos de edad



De la Figura 7, se aprecia que el grupo etario predominante en la muestra sigue siendo el de Adultos (de 30 a 59 años), el cual representa a 7 de los 15 encuestados, equivalente al 46,7 % del total. Le siguen en igual proporción los grupos de Jóvenes (de 24 a 29 años) y Adultos mayores (de 60 a 69 años), con 4 participantes cada uno, representando el 26,7 % de la muestra en ambos casos.

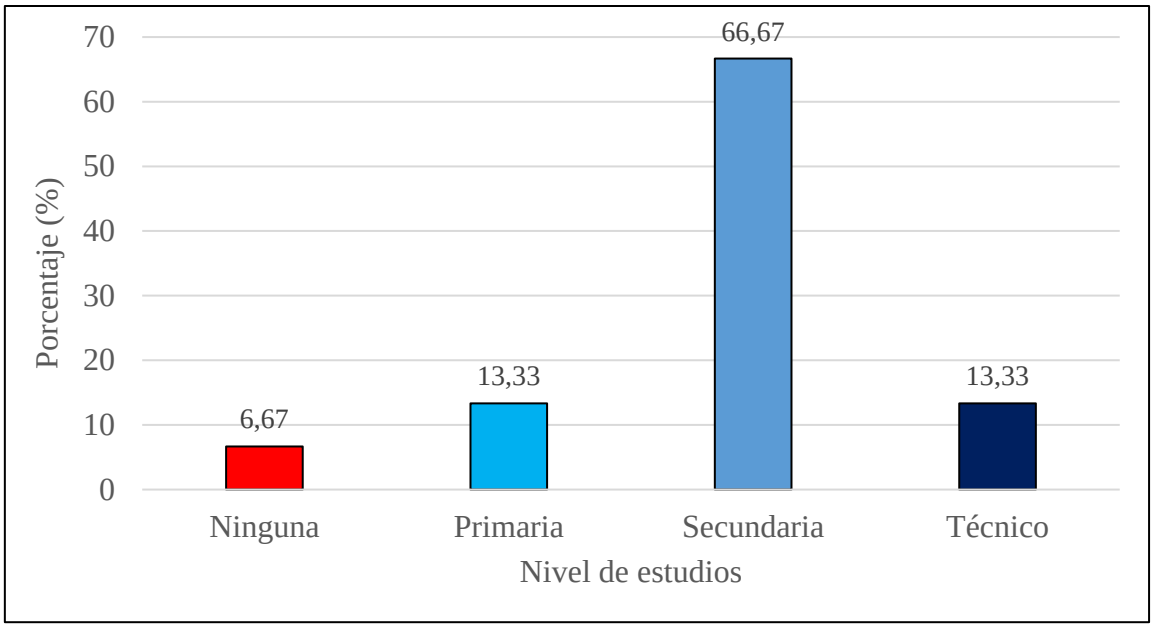
Este perfil etario confirma que el 73,4 % de los encuestados (adultos y adultos mayores) posee una vasta experiencia en el consumo y uso cotidiano del agua potable en sus hogares. Su percepción es fundamental para la evaluación de parámetros respecto al D.S. N° 031-2010-SA, ya que son ellos quienes pueden detectar con mayor certeza variaciones en el sabor, olor o turbiedad del agua que reciben de la red de distribución en Huaral. Por otro lado, el 26,7 % de jóvenes encuestados aporta una perspectiva fresca y actual sobre la calidad del servicio.

c) Nivel de estudios de los usuarios encuestados

Sobre el nivel educativo máximo alcanzado por los jefes de hogar o responsables encuestados. El nivel de estudios es una variable sociodemográfica importante, ya que puede influir en la capacidad de comprensión de la normativa y en la percepción de la calidad del agua. En Figura 8, se presenta el nivel educativo de la muestra participante.

Figura 8

Distribución de los usuarios encuestados según su nivel de estudios



De acuerdo con la Figura 8, se puede apreciar que el nivel de estudios predominante en la muestra es la Secundaria, con 10 participantes, lo que representa el 66,67 % del total de encuestados. Le siguen en igual proporción el nivel Primaria y Técnico, con 2 participantes cada uno, representando el 13,33 % en cada caso. Finalmente, se observa que solo 1 persona (6,67 %) declaró no tener ningún nivel de estudio.

En el contexto de la investigación y la percepción de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad) y el cloro residual, este dato es relevante porque el 80 % de la

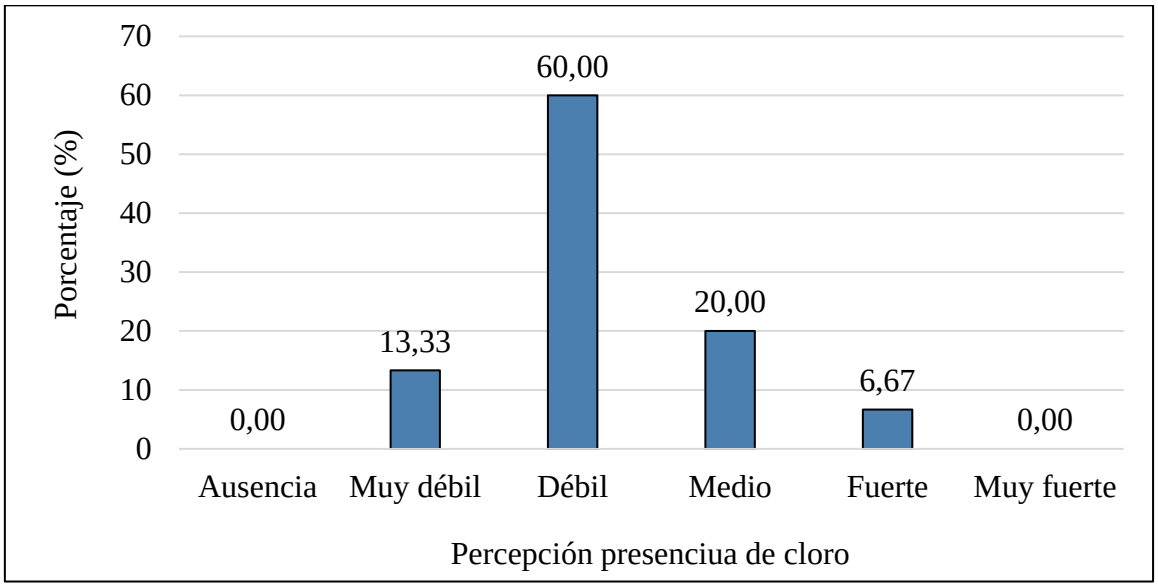
muestra (Secundaria y Técnico) tiene un nivel educativo que les permite comprender con claridad el cuestionario aplicado y emitir una opinión fundamentada sobre la calidad del agua que reciben. Asimismo, la presencia de personas con primaria y sin estudios no invalida la muestra, sino que enriquece la diversidad de la percepción, abarcando a todos los sectores de la población de Huaral que utilizan el agua de la red de distribución.

d) Percepción de presencia de coro residual

Sobre cómo calificaban la presencia de cloro en el agua potable que reciben, utilizando una escala de percepción que va desde "Ausencia" (1) hasta "Muy fuerte" (6). Este fundamental, ya que el cloro residual representa un indicador clave de la calidad microbiológica del agua, y su percepción sensorial (sabor y olor) influye directamente en la aceptación del servicio por parte del usuario. La Figura 9 muestra la percepción sobre la presencia de cloro.

Figura 9

Percepción de la presencia de cloro en el agua potable



De acuerdo con la Figura 9, se evidencia que la percepción mayoritaria de los encuestados sobre la presencia de cloro es "Débil", con una frecuencia de 9 personas, lo que representa el 60,00 % del total. Le sigue la percepción "Medio", con 3 personas (20,00 %); y en menor medida la percepción "Muy débil", con 2 personas (13,33 %). Cabe destacar que solo 1 persona (6,67 %) percibió el cloro como "Fuerte", mientras que ninguno de los encuestados lo calificó como "Ausencia" o "Muy fuerte".

En el contexto de la normativa D.S. N° 031-2010-SA (que establece el cloro residual libre entre 0,5 y 5,0 mg/L), estos resultados son sumamente reveladores. El hecho de que el 93,33 % de los encuestados perciba el cloro entre "Muy débil" y "Medio" sugiere que, en la mayoría de las viviendas, el nivel de cloro se encuentra dentro de parámetros que no generan un sabor u olor desagradable para el consumo humano. Sin embargo, la presencia de una percepción "Fuerte" en una vivienda (6,67 %) será contrastado con los resultados de las mediciones instrumentales del estudio.

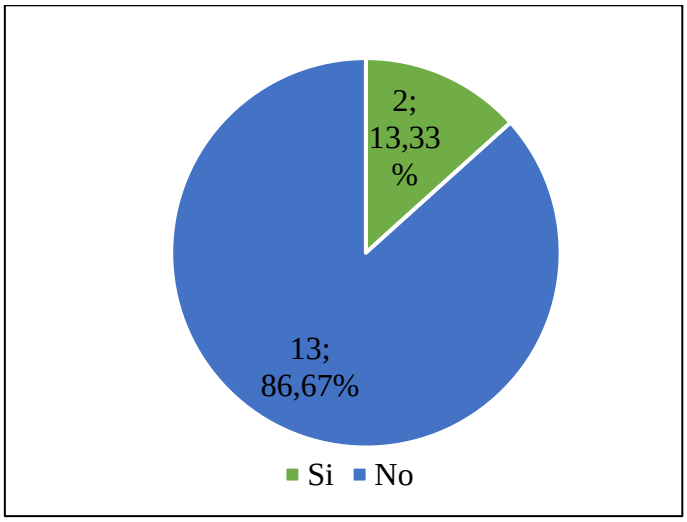
e) Hábitos de consumo directo de agua del grifo

Sobre los hábitos de los usuarios, en beber agua del grifo directamente sin ningún tratamiento previo (como hervido o filtrado). Es relevante, porque el hábito de consumo directo está directamente influenciado por la percepción de los parámetros organolépticos, especialmente el sabor, el olor a cloro y la turbiedad del agua.

La Figura 10 evidencia que la gran mayoría de usuarios encuestados no consume agua directamente del grifo, con una frecuencia de 13 personas, lo que representa un abrumador 86,67 % del total de la muestra. En contraste, solo 2 personas (equivalente al 13,33 %) afirmaron beber agua directamente del grifo sin ningún tratamiento.

Figura 10

Hábito de consumo directo de agua del grifo de los usuarios



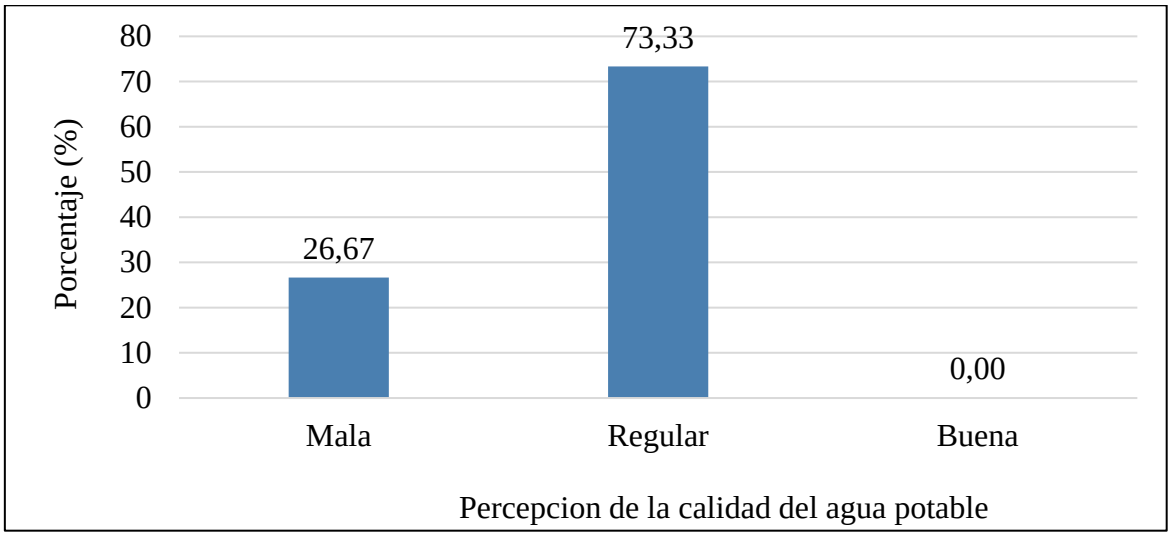
Este resultado guarda una estrecha relación con los análisis anteriores. A pesar de que la mayoría percibió el cloro como "Débil" (60 %) y "Medio" (20 %), el hecho de que casi el 87 % de los usuarios prefiera no beberla directamente sugiere que, aunque el cloro no sea percibido como excesivamente fuerte, la confianza en la calidad microbiológica o la costumbre de hervir/filtrar el agua sigue siendo un hábito muy arraigado en la población de Huaral. Esto refuerza la importancia de los parámetros organolépticos: si bien el cloro residual es vital para la desinfección según el D.S. N° 031-2010-SA, su sola presencia (aunque sea débil) parece generar un rechazo al consumo directo en la mayoría de los hogares.

f) Percepción de la calidad del agua potable

Sobre cómo calificaban los usuarios, desde su percepción personal, la calidad general del agua potable que reciben de la red de distribución. Para ello, se utilizó una escala de tres niveles: "Mala" (1), "Regular" (2) y "Buena" (3). Esta percepción subjetiva resulta un complemento fundamental para los resultados objetivos de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad y cloro residual), ya que refleja el nivel de satisfacción real del usuario con el servicio brindado. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Figura 11

Percepción de la calidad general del agua potable



De acuerdo con la Figura 11, se evidencia que la percepción mayoritaria sobre la calidad del agua potable es "Regular", con una frecuencia de 11 personas, lo que representa el 73,33 % del total de la muestra. En segundo lugar, se encuentra la percepción "Mala", con 4 personas (26,67 %). Resulta altamente significativo que ninguno de los 15 encuestados (0,00 %) haya calificado el agua como "Buena".

Este resultado se conecta directamente con los hallazgos anteriores. A pesar de que la mayoría percibió el cloro como "Débil" y el agua no es consumida directamente por el 86,67 % de los hogares, el hecho de que el 100 % de los encuestados la califique entre "Regular" y "Mala" revela un nivel de insatisfacción general con el servicio. Esto sugiere que, aunque el agua pueda cumplir con los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del D.S. N° 031-2010-SA, la falta de percepción de "Buena calidad" en la muestra evaluada genera una desconfianza que deriva en la necesidad de tratamientos domésticos como el hervido o el filtrado. Este dato es importante, pues evidencia la brecha que puede existir entre el cumplimiento normativo de los parámetros y la percepción del usuario final en la ciudad de Huaral.

g) Problema principal percibido en el servicio de agua potable

Sobre el problema principal que consideraban los usuarios que habían notado en el servicio de agua potable que reciben de la red de distribución en la ciudad de Huaral. Los resultados obtenidos fueron extraordinariamente uniformes: los 15 participantes (que representan el 100 % de la muestra) coincidieron en que el principal problema es la intermitencia del suministro de agua.

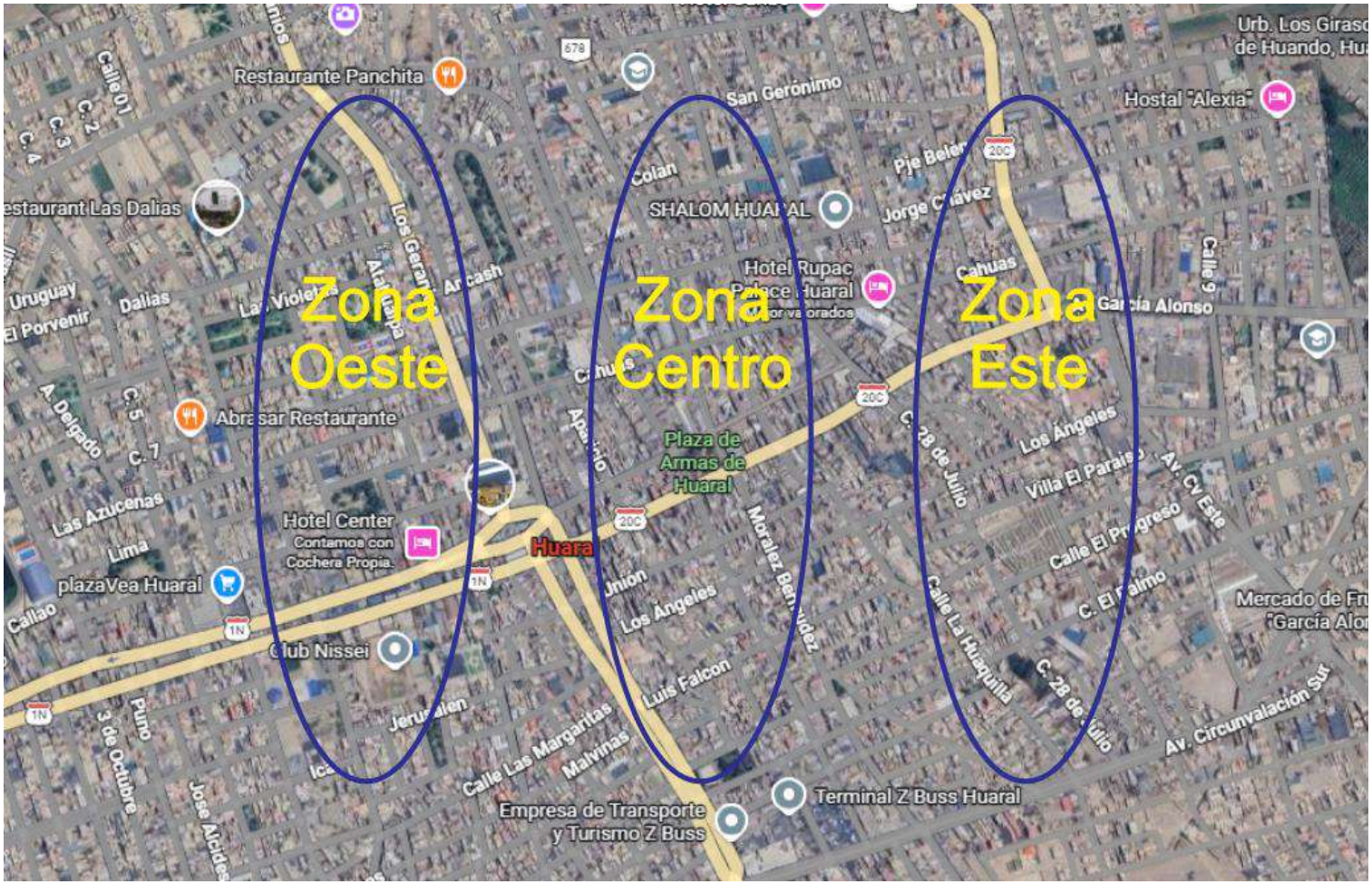
Este hallazgo es relevante, dado que, si bien el estudio está enfocado en la evaluación de parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y el cloro residual, la intermitencia del servicio actúa como un factor externo crítico que incide directamente sobre estos indicadores. La unanimidad absoluta de la respuesta (100 %) evidencia que el sistema de abastecimiento enfrenta una falla operacional recurrente en la ciudad de Huaral, y esto tiene implicancias directas en la calidad del agua que se entrega a las vivienda.

4.1.2 Ubicación de los puntos de monitoreo

Para llevar a cabo una evaluación espacialmente representativa, se seleccionaron 15 viviendas como puntos de monitoreo, distribuidas de forma aleatoria pero estratégica en tres sectores de la ciudad de Huaral, tomando la Plaza de Armas como punto de referencia: Zona Este, Zona Centro y Zona Oeste). El objetivo de esta georreferenciación es poder contrastar de manera gráfica y técnica si las zonas de las viviendas evaluadas presentan diferencias en los parámetros de calidad del agua potable. En la Figura 12, se muestran las tres zonas donde se recolectaron las muestras. La ubicación espacial permite identificar las zonas. La que permitirá comparar posteriormente si los parámetros fisicoquímicos (como el cloro residual) sufren una degradación significativa mientras el agua se desplaza en la red de distribución en las zonas evaluadas de la ciudad.

Figura 12

Ubicación de las zonas de viviendas monitoreadas en la ciudad de Huaral



4.1.3 Cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, conductividad, TDS y dureza total) del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA

Se consolidan en la Tabla 3 los reportes de laboratorio y las mediciones in situ realizadas en las 15 viviendas para los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total). El objetivo de esta medición es contrastar estos valores con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA. Se presenta el comportamiento de cada parámetro, dividido por zona de ubicación.

Tabla 3

Resultados del monitoreo de parámetros organolépticos

Ubicación de la vivienda*	Olor	Sabor	Turbiedad	pH	TDS	Conductividad	Dureza Total
	Escala 1 - 9	Escala 1 - 9	UNT	Valor de pH	ppm	µs/cm	ppm
Este	7	7	0,23	8,16	232	460,3	174
	4	4	0,42	8,14	247	493,5	189
	4	4	0,44	8,24	262	522,7	187
	7	7	0,47	8,16	240	475,7	210
	7	7	0,38	8,21	228	456,0	178
Centro	5	7	0,21	8,08	222	442,2	153
	7	7	0,38	8,04	230	457,2	180
	4	7	0,26	8,13	236	472,7	168
	5	6	0,30	8,12	214	425,0	176
	6	7	0,28	8,15	228	457,6	188
Oeste	6	6	0,32	8,20	288	578,3	222
	6	6	0,40	8,24	298	595,7	180
	5	6	0,36	8,27	252	500,2	172
	6	6	0,36	8,22	297	594,3	210
	5	6	0,38	8,26	364	724,4	178

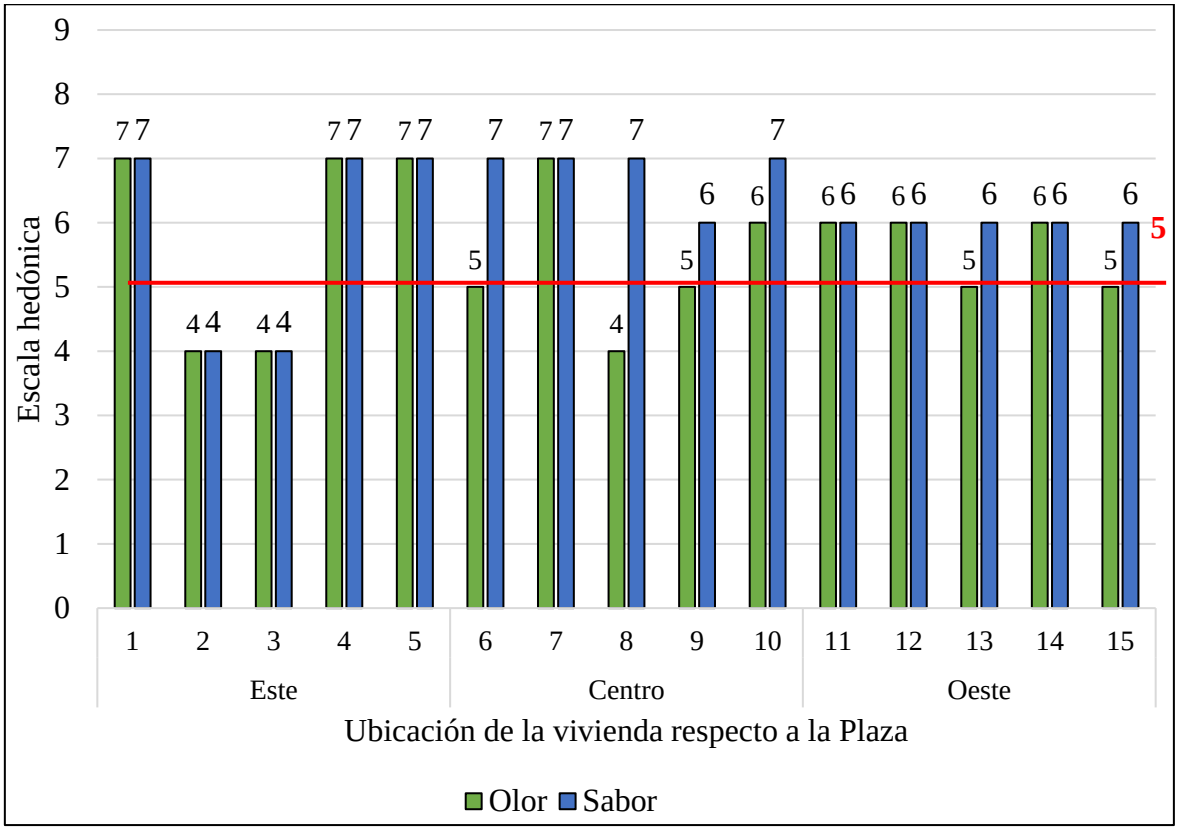
Nota. *Ubicación respecto a la Plaza de Armas de Huaral.

a) Olor y sabor

La percepción del olor y el sabor es un indicador sensorial que, aunque subjetivo, refleja la aceptación del consumidor. Para este estudio, se empleó una escala hedónica de 1 a 9, donde un valor superior a 5 es considerado como aceptable para los usuarios. En la Figura 13, se muestran los puntajes obtenidos en las viviendas según su ubicación geográfica.

Figura 13

Percepción del olor y sabor del agua potable por zonas evaluadas



De acuerdo con la Figura 13, se observa que tanto el olor del agua como el sabor fluctuó entre 4 y 7 en las distintas viviendas. Se puede establecer que el 100 % de las viviendas en la zona Oeste obtuvieron puntajes de olor y sabor iguales o superiores a 5, lo cual las califica como organolépticamente aceptables.

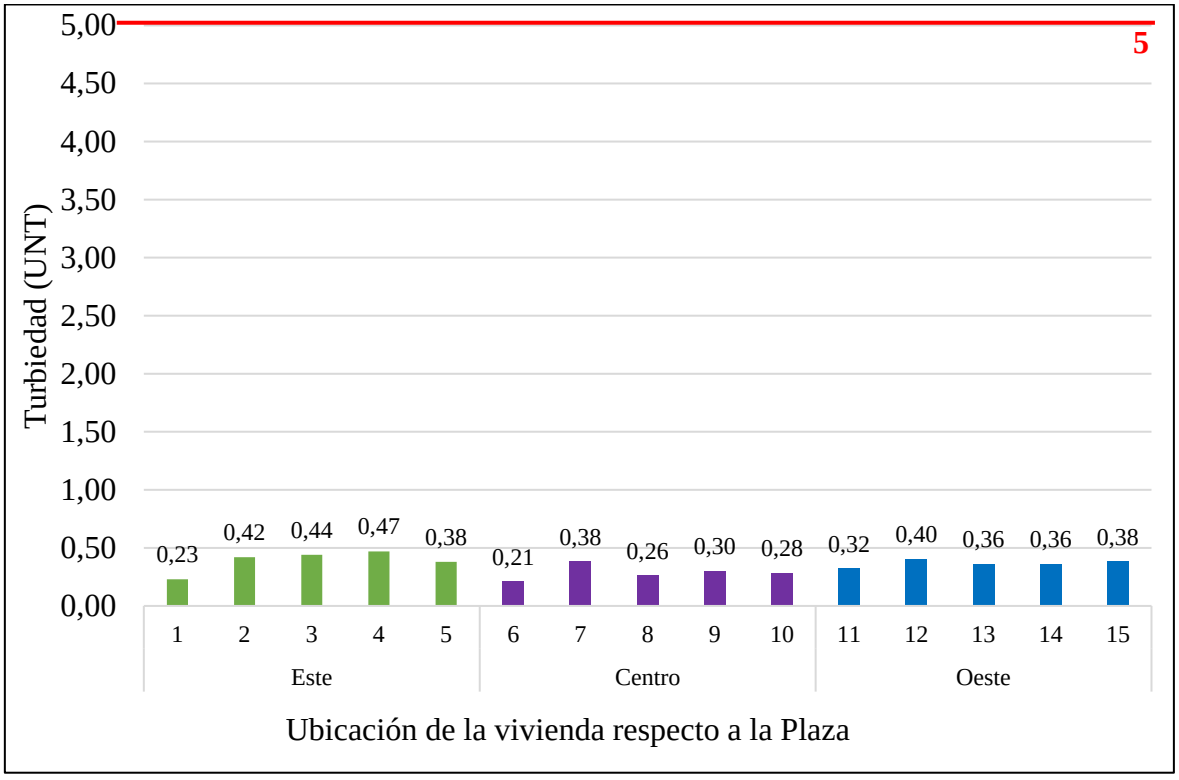
Sin embargo, se identifican ligeras excepciones en tres viviendas ubicadas en zonas Este y Centro, las cuales obtuvieron puntajes de 4, indicando una percepción de ligera molestia en estos parámetros. La aceptabilidad en la zona Oeste puede estar asociado a una disminución de sedimentos o biopelículas acumuladas en las tuberías.

b) Turbiedad

La turbiedad mide la claridad del agua; un valor bajo refleja la transparencia del agua y exenta de partículas en suspensión. La normativa nacional establece un LMP de 5 UNT. A continuación, se muestra el comportamiento de la turbiedad en las viviendas de los tres sectores evaluados.

Figura 14

Comportamiento de la turbiedad del agua potable por zonas evaluadas



Tal como se observa en la Figura 14, los niveles de turbiedad medidos se encuentran en un rango extremadamente bajo, que va desde 0,21 UNT hasta 0,47 UNT, con un

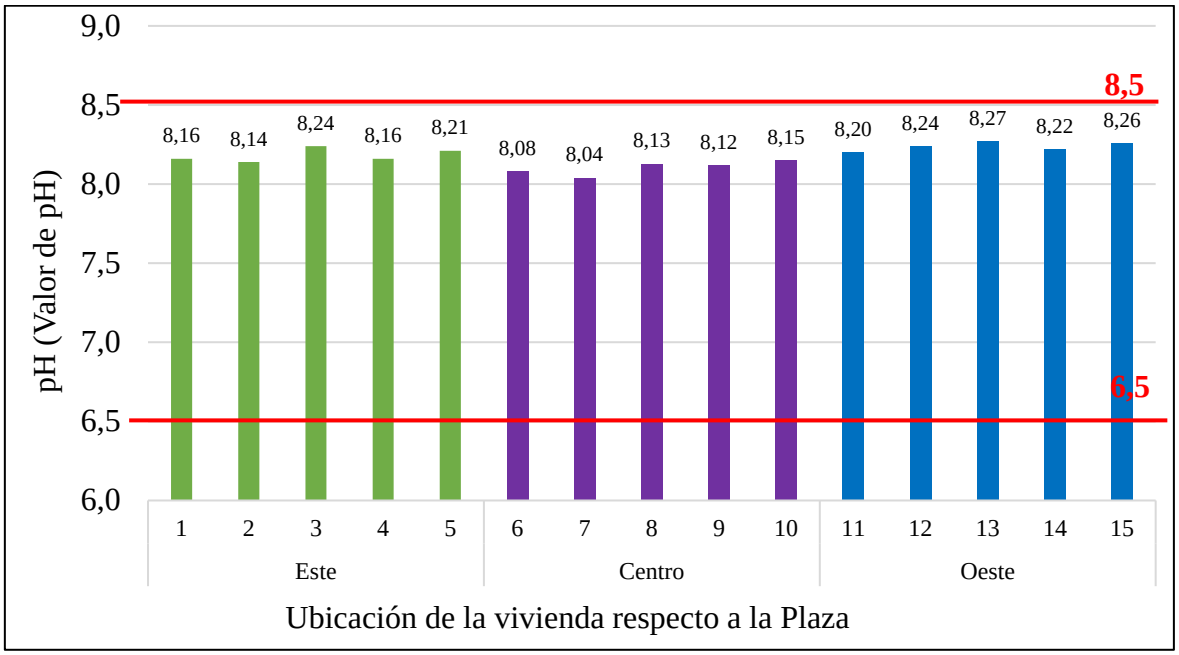
promedio general de 0,35 UNT. Al contrastar estos valores con el LMP de 5 UNT, se concluye que el 100 % de las viviendas evaluadas, sin importar su ubicación, cumple holgadamente con la normativa vigente. Lo que significa que el agua de la red de Huaral llega visualmente cristalina a todos los hogares. Sin embargo, se aprecia que la zona Oeste presenta ligeros picos de turbiedad (por ejemplo, 0,40 UNT), lo cual es un indicio de que los sedimentos que suelen acumularse en los tramos de la tubería son arrastrados cuando el flujo de agua se reestablece tras un corte.

c) pH

El pH, entendido como el indicador que mide la acidez o alcalinidad del agua, debe ajustarse al rango de 6,5 a 8,5 establecido por el D.S. N° 031-2010-SA, tal como se refleja en la Figura 15 para las quince viviendas monitoreadas.

Figura 15

Comportamiento del pH del agua potable por zonas evaluadas



Los resultados gráficos indican que el pH del agua potable en Huaral se mantuvo en un rango de 8,04 a 8,27. Todos estos valores se encuentran dentro del límite establecido por la norma (6,5 a 8,5). Es importante destacar que el agua se encuentra en el límite superior del rango, es decir, es ligeramente alcalina.

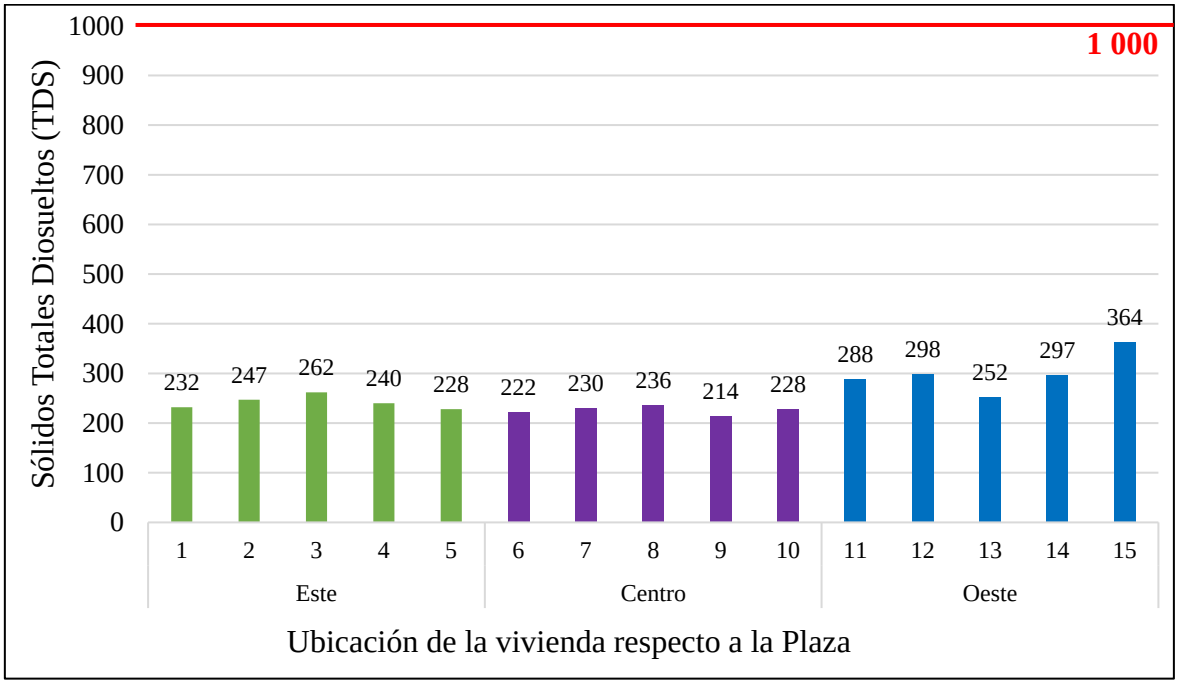
Esta alcalinidad es una característica natural de las aguas subterráneas o de río con presencia de carbonatos y bicarbonatos disueltos en esta zona del país. Para el consumidor, esta ligera alcalinidad no representa un riesgo para la salud, sino que es una característica fisicoquímica típica del agua de Huaral.

d) Suidos totales disueltos

Los TDS cuantifican la cantidad de minerales, sales y metales disueltos en el agua. El LMP establecido por la norma peruana es de 1 000 ppm. En la Figura 16 se observa el comportamiento de este parámetro.

Figura 16

Comportamiento de los TDS del agua potable por zonas evaluadas



La Figura 16 muestra que los valores de TDS en las viviendas varían entre 214 ppm y 364 ppm. Al igual que la turbiedad, el 100 % de las viviendas monitoreadas se encuentra bastante inferior del LMP de 1 000 ppm.

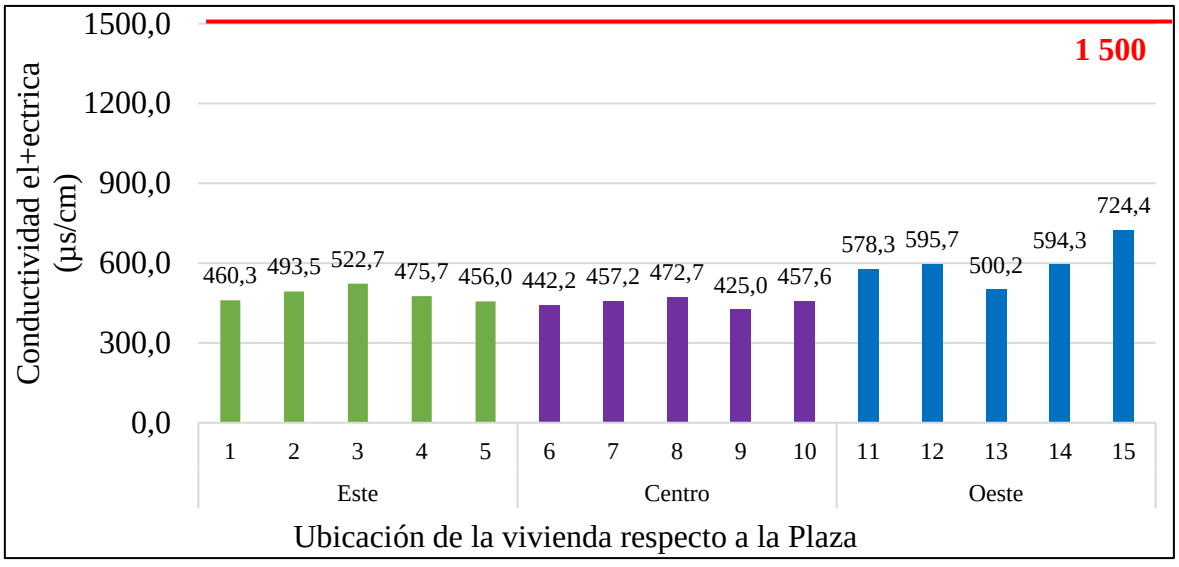
Desde una perspectiva más sencilla, esto nos dice que el agua de la red tiene una cantidad de minerales disueltos muy baja (es un agua bastante pura en términos de sales). Los ligeros incrementos en alguna zona podrían estar relacionados con la disolución de minerales calcáreos en el interior de las tuberías más antiguas a medida que el agua viaja mayor distancia, pero esto no representa ninguna amenaza sanitaria.

e) Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica constituye el indicador que expresa la facultad del agua para permitir el flujo de corriente eléctrica, parámetro que se halla directamente vinculado con la carga de sólidos disueltos presentes en el líquido. Para el agua potable, es un parámetro de calidad que se usa para detectar contaminaciones salinas. En la Figura 17, se grafica su comportamiento en las viviendas evaluadas.

Figura 17

Comportamiento de la conductividad del agua potable por zonas evaluadas



La conductividad eléctrica registrada en los puntos monitoreados va desde 425,0 µS/cm hasta 724,4 µS/cm. Se aprecia la proporcionalidad directas de estos valores con los TDS (los datos de conductividad son, aproximadamente, el doble de los ppm de TDS, un factor de conversión conocido en aguas naturales).

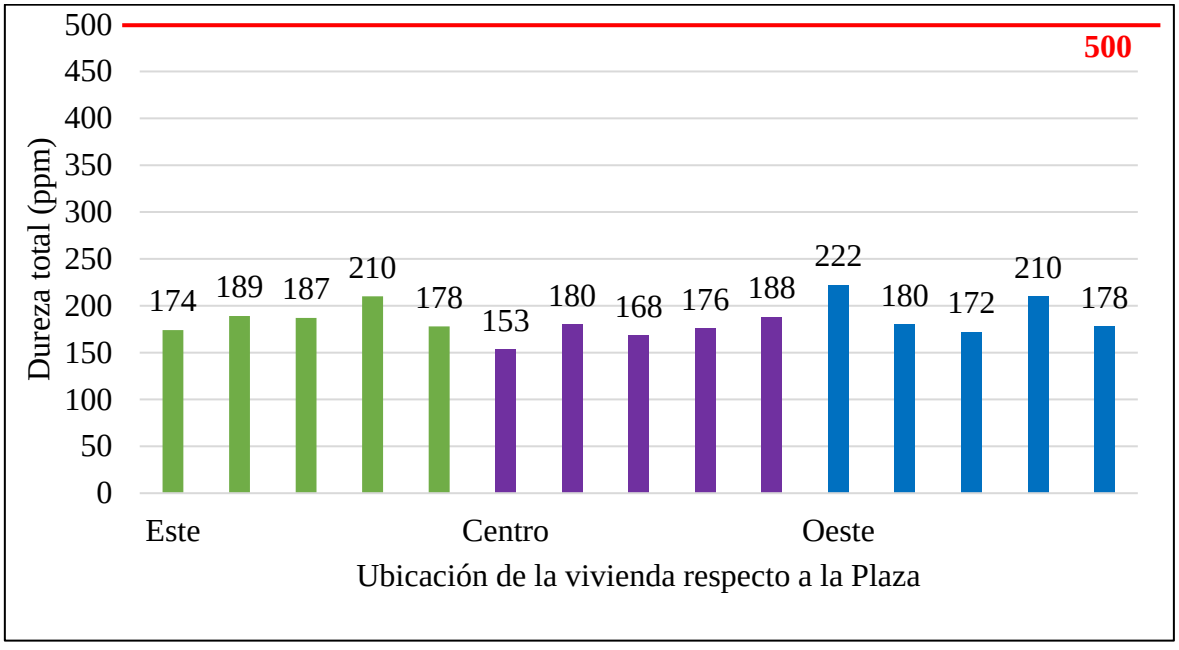
Estos niveles son indicativos de un agua con baja salinidad. No existe evidencia de intrusión salina o contaminación por aguas residuales de alto contenido iónico en la red, lo cual confirma que, químicamente, las propiedades básicas del agua se mantienen estables mientras se distribuye en la ciudad.

f) Dureza total

La dureza total se debe principalmente por la presencia de carbonato de calcio y magnesio disuelto. El D.S. N° 031-2010-SA señala un LMP de 500 ppm expresado en $CaCO_3$. La Figura 18 muestra sus cambios en las viviendas evaluadas.

Figura 18

Comportamiento de la dureza total del agua potable por zonas evaluadas



Los datos presentados en la Figura 18 indican que la dureza total del agua en las tres zonas evaluadas de Huaral fluctúa entre 153 ppm y 222 ppm. Al igual que en los parámetros anteriores, el 100 % de las muestras cumple con el LMP establecido (500 ppm).

Aunque técnicamente cumplen, estos valores indican que el agua es ligeramente dura. En la práctica doméstica, una dureza de este tipo no representa riesgo a la salud humana.

4.1.4 Cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA

El cloro residual es, posiblemente, el parámetro más crítico de la calidad del agua potable, ya que garantiza que el agua esté libre de patógenos durante su recorrido por las tuberías hasta el hogar. El Artículo 66 del D.S. N° 031-2010-SA dispone que el cloro residual libre debe encontrarse en un rango de 0,5 a 5,0 mg/L en el 90 % de las muestras, y no debe ser menor a 0,3 mg/L en ningún caso. La Tabla 4, expone lo obtenido en los tres sectores de monitoreo.

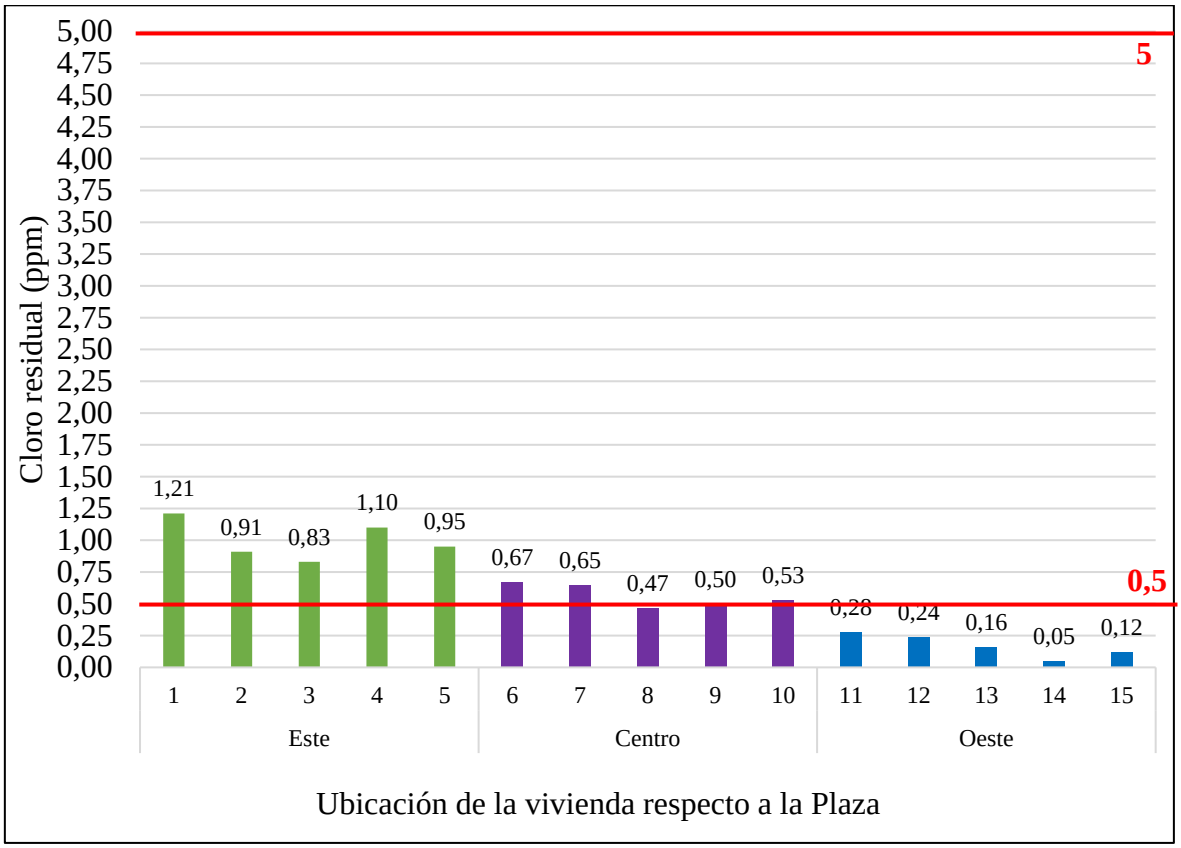
Tabla 4

Monitoreo de cloro residual por zonas evaluadas

	Ubicación de la vivienda		
Muestra	Este	Centro	Oeste
	ppm	ppm	ppm
1	1,21	0,67	0,28
2	0,91	0,65	0,24
3	0,83	0,47	0,16
4	1,1	0,5	0,05
5	0,95	0,53	0,12

Figura 19

Comportamiento del cloro residual del agua potable por zonas evaluadas



Al analizar Figura 19, se observa una diferencia muy marcada entre las zonas:

- **Zona Este:** Las 5 viviendas presentan valores entre 0,83 y 1,21 mg/L, encontrándose totalmente dentro del rango normativo. El agua en esta zona cuenta una adecuada desinfección.
- **Zona Centro:** Aquí el cloro es un poco inferior. Mientras que hay cuatro viviendas que aún cumplen con el rango de 0,5 a 5,0 mg/L, y uno de ellas ya se encuentran por debajo de 0,5 mg/L (específicamente, entre 0,47), incumpliendo el límite inferior del D.S.

- **Zona Oeste:** Esta zona presenta incumplimiento crítico, con la totalidad de las viviendas por debajo de 0,5 mg/L, con valores tan bajos como 0,05 mg/L hasta 0,28 mg/L, lo que confirma la pérdida de la barrera desinfectante en esta zona.

Cuando un agua tiene 0,05 mg/L de cloro, prácticamente ha perdido su capacidad desinfectante. Esto significa que, aunque el agua salga tratada de la planta potabilizadora, el cloro se degrada o se "gasta" antes de llegar a las casas de la periferia. Este hallazgo está directamente relacionado con el 100 % de la muestra, que afirmó que el mayor problema es la intermitencia del servicio. Durante las horas sin flujo de agua, el cloro reacciona con la materia orgánica de las paredes de las tuberías y se evapora, dejando a los habitantes de la zona distante consumiendo agua que, microbiológicamente, carece de la protección necesaria contra bacterias o virus.

4.1.5 Comparación los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en zonas respecto a la plaza de armas

Tras el análisis individual, se realiza un análisis integrador para determinar si las diferencias geográficas (zonas) generan una variación significativa en percepción de los usuarios de Huaral y los parámetros evaluados. Por consiguiente, tras el análisis de las figuras anteriores, se extraen las siguientes conclusiones comparativas:

- **Parámetros organolépticos** (Turbiedad, pH, TDS, Conductividad y Dureza total): Se mantienen estables y dentro de los LMP en las tres zonas. La zonas prácticamente no afecta a estos parámetros, salvo por pequeños incrementos puntuales propios de las características de la zona y el arrastre de sedimentos en tramos de tuberías.

- **Parámetros sensoriales de aceptación** (Olor, Sabor y Calidad percibida): Muestran una ligera diferencias entre las zonas evaluadas, muy relacionado a las condiciones de calidad con que disponen el agua en sus viviendas.
- **El parámetro crítico:** Cloro residual, se encontraron diferencias marcadas entre las zonas Oeste, centro y Este, encontrándose en algunos casos valores inferiores al umbral mínimo exigido por la norma sanitaria. Pudiendo deberse a los hábitos de consumo y la hora de muestreo del agua en la vivienda.

El general, las tres zonas se diferencian de manera importante únicamente en el cloro residual. El declive del cloro en unas zonas, sumado a la queja unánime de la intermitencia del servicio, confirma que la red de distribución en algunas zonas tiene problemas de operatividad, lo que pone en riesgo la calidad microbiológica del agua.

4.2 Contrastación de hipótesis

Se tiene en cuenta la notación:

- Ho: Hipótesis nula. Para retener Ho, el *p-valor* $\geq 0{,}05$.
- Ha: Hipótesis alterna. Para descartar Ho y retener Ha, el *p-valor* $< 0{,}05$.

4.2.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis de investigación

Los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable cumplen con los LMP establecidos en el D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022.

Hipótesis estadísticas

Ho: Los parámetros organolépticos no cumplen con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA. Específicamente: El olor Me $\leq$ 5 puntos (aceptable), sabor Me $\leq$ 5 puntos (aceptable), turbiedad $\mu \geq 5$ UTN, pH $\mu \leq 6{,}5$ o $\mu \geq 8{,}5$, conductividad *Me* $\geq$ 1 500 uS/cm, TDS *Me* $\geq$ 1 000 ppm, dureza total $\mu \geq 500$ ppm, en el agua potable consumida en las 15 viviendas monitoreadas de Huaral en diciembre de 2022.

Ha: Los parámetros organolépticos sí cumplen con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA. Específicamente: El olor *Me* > 5 puntos (aceptable), sabor *Me* > 5 puntos (aceptable), turbiedad $\mu < 5$ UTN, pH $\mu > 6{,}5$ y $\mu < 8{,}5$, conductividad *Me* < 1 500 uS/cm, TDS *Me* < 1 000 ppm, dureza total $\mu < 500$ ppm, en el agua potable consumida en las 15 viviendas monitoreadas de Huaral en diciembre de 2022.

Nivel de significancia: $\alpha = 0{,}05$ (5 %).

Normalidad

Se calculó en el Anexo 13 (Shapiro-Wilk), donde:

- No normal *(p-valor* <0,05): Olor, Sabor, TDS, Conductividad. Se aplica la Prueba no paramétrica: Rangos con signo de Wilcoxon para una muestra.
- Normal (*p-valor*≥0,05): Turbiedad, pH, Dureza Total. Se aplica la Prueba paramétrica: t de Student para una muestra.

Pruebas estadísticas

Tabla 5

Resultados de pruebas estadísticas de cumplimento de LMP de parámetros organolépticos

Parámetros	Prueba estadística utilizada	Valor de comparación	Estadístico	p-valor
Olor	Rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	5	Estadístico= 54,000 *Me* = 6,00	0,053
Sabor		5	Estadístico= 111,000 *Me* = 6,00	0,003
TDS		1 000	Estadístico= 0,000 *Me* = 240,00	0,001
Conductividad		1 500	Estadístico= 0,000 *Me* = 475,70	0,001
Turbiedad	t de Student de una muestra	5	*t* = - 234,154	0,000
pH		6,5	*t* = 96,554	0,000
		8,5	*t* = -18,757	0,000
Dureza Total		500	*t* = -68,395	0,000

Nota. Me: Mediana de los datos.

Interpretación

De la Tabla 5, se tiene:

- Para el Olor, el *p-valor* = 0,053 es ligeramente superior a 0,05, por lo que estadísticamente, no hay evidencia suficiente para rechazar *Ho* y se tiene que, de manera estricta, la prueba no confirma el cumplimiento normativo en términos de significancia. Sin embargo, al observar la mediana (*Me* = 6,00), que es superior al valor de comparación (5), se determina que en la práctica el olor del agua es aceptable para el consumo.

- Para el Sabor, el *p-valor* = 0,003 es inferior a 0,05, por lo que estadísticamente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. La mediana (*Me* = 6,00) es significativamente mayor a 5, por lo que se tiene que sí cumple con el LMP de aceptabilidad.
- Para el TDS, el *p-valor* = 0,001 es inferior a 0,05, por lo que estadísticamente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. La mediana (*Me* = 240,00) es significativamente inferior al límite de 1 000 ppm, por lo que se tiene que sí cumple con el LMP.
- Para la Conductividad, el *p-valor* = 0,001 es inferior a 0,05, por lo que estadísticamente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. La mediana (Me = 475,70) es significativamente inferior al valor de referencia de 1 500 µS/cm, por lo que se tiene que sí cumple con el LMP.
- Para la Turbiedad, el *p-valor* = 0,000 es inferior a 0,05, por lo que estadísticamente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. La media es extremadamente inferior al LMP de 5 UNT, por lo que se tiene que sí cumple holgadamente con el LMP.
- Para el pH, los *p-valores* = 0,000 (tanto para el límite inferior de 6,5 como para el superior de 8,5) son inferiores a 0,05, por lo que estadísticamente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. Se demostró que el pH promedio es significativamente mayor a 6,5 y menor a 8,5, por lo que se cumple con el rango normativo.
- Para la Dureza Total, el *p-valor* = 0,000 es inferior a 0,05, por lo que estadísticamente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. El promedio es significativamente inferior al LMP de 500 ppm, cumpliéndose con el LMP.

En general, de los 7 parámetros organolépticos evaluados estadísticamente, 6 de ellos (Sabor, TDS, Conductividad, Turbiedad, pH y Dureza Total) cumplen satisfactoriamente a excepción del olor, que se considera en la práctica como aceptable para el consumo, clasificándose como un cumplimiento práctico con reserva.

4.2.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis de investigación

El contenido de cloro residual del agua potable cumple con los LMP establecidos en el D.S. Nº 031-2010-SA (Art. 66: 0,5-5 mg/L, en el 90% de muestras, ninguno <0,3 mg/L) en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022.

Hipótesis estadísticas

Ho: No existen diferencias estadísticamente significativas entre la proporción observada de viviendas con cloro residual dentro del rango normativo (0,5 a 5,0 mg/L) y el estándar exigido del 90 % ($p = 0,90$). Es decir, la proporción poblacional es igual o superior al 90 % ($p \geq 0,90$) y todas las 15 viviendas monitoreadas registran un valor igual o superior a 0,3 mg/L.

Ha: Existen diferencias estadísticamente significativas entre la proporción observada de viviendas con cloro residual dentro del rango normativo (0,5 a 5,0 mg/L) y el estándar exigido del 90 %. Específicamente, la proporción poblacional es inferior al 90 % ($p < 0,90$) y/o al menos una de las 15 viviendas monitoreadas registra un valor inferior a 0,3 mg/L.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ (5 %).

Normalidad

Los datos de cloro residual presentaron una distribución normal de acuerdo a la prueba de *Shapiro-Wilk* (*p-valor* = 0,644 > 0,05) del Anexo 13. Sin embargo, debido a que la normativa exige un cumplimiento porcentual y no un promedio, la contrastación de esta hipótesis no se realiza mediante la media, sino mediante la Prueba Binomial Exacta de una Proporción.

Pruebas estadísticas

Dado que la muestra es pequeña (n = 15) y la variable de interés es dicotómica, se aplicó la Prueba Binomial Exacta. Esta prueba compara la proporción observada de éxitos (viviendas con cloro ≥ 0,5 mg/L) contra la proporción teórica exigida por la ley (90 %).

Tabla 6

Resultados de la prueba binomial exacta para el cumplimiento del cloro residual

	Categoría	N	Prop. observada	Prop. de prueba	p-valor
Condición del Cloro residual	Cumple	10	0,7	0,9	0,013
	No cumple	5	0,3		
	Total	15	1,0		

Interpretación

- Para el Cloro Residual, los resultados observados indican que solo 10 de las 15 viviendas (66,67 %) presentan un valor igual o superior a 0,5 mg/L, incumpliendo la primera exigencia del 90 % establecido en el Art. 66.
- Además, 5 viviendas (33,33 %) presentan valores por debajo del límite crítico de 0,3 mg/L (0,28; 0,24; 0,16; 0,05 y 0,12 mg/L), incumpliendo el segundo requisito de que ninguna muestra sea inferior a 0,3 mg/L.
- Al aplicar la prueba binomial exacta para la proporción del 90 %, se obtuvo un *p-valor* = 0,013, el cual es menor a 0,05.

En base a ello, se rechaza *Ho* (que afirmaba que no había diferencias con el estándar) y se acepta *Ha*. Esto confirma que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre lo observado y lo exigido por la norma (específicamente, la proporción observada es significativamente inferior al 90 %).

Por lo tanto, el Cloro Residual no cumple con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA. Este hallazgo, sumado a la queja unánime del 100 % de los usuarios sobre la intermitencia del servicio, confirma que en algunas zonas de Huaral el cloro se degrada y se agota en el punto de consumo en las viviendas, dejando el agua sin su barrera desinfectante y representando un grave riesgo microbiológico en las 15 viviendas monitoreadas.

4.2.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis de investigación

Existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.

Hipótesis estadísticas

Ho: No existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad, dureza) ni en el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.

Ha: Existen diferencias estadísticamente significativas en al menos uno de los valores de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad, dureza) o en el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.

Nivel de significancia:

$\alpha = 0,05$ (5 %)

Normalidad

Si bien se evaluó la normalidad de cada parámetro con Shapiro-Wilk, al ser 3 grupos independientes con $n = 5$ (tamaño de muestra extremadamente pequeño para pruebas paramétricas), se optó por utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Esta prueba permite comparar las medianas de los 3 grupos (Este, Centro y Oeste) sin que requiera que los datos sigan una distribución normal ni que las varianzas sean homogéneas.

Pruebas estadísticas

Tabla 7

Prueba H de Kruskal-Wallis por zonas de los parámetros evaluados

Parámetro	H de Kruskal-Wallis	p-valor
Olor	0,389	0,823
Sabor	4,062	0,131
Turbiedad	4,985	0,083
pH	10,482	0,005
TDS	10,464	0,005
Conductividad	10,260	0,006
Dureza Total	2,358	0,308
Cloro Residual	12,500	0,002

Interpretación

De la Tabla 7, se tiene:

Para el Olor (*p-valor* = 0,823), Sabor (*p-valor* = 0,131), Turbiedad (*p-valor* = 0,083) y Dureza Total (*p-valor* = 0,308): Los p-valores superan 0,05, por lo tanto no se rechaza *Ho*. Esto significa que no existen diferencias estadísticamente significativas en estos parámetros sensoriales entre viviendas ubicadas en las zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas de Huaral. El olor, sabor, turbiedad y dureza total del agua se perciben o presentan de manera homogénea en toda la red de distribución evaluada de Huaral.

Para el pH (*p-valor* = 0,005), TDS (*p-valor* = 0,005) y Conductividad (*p-valor* = 0,006): Los p-valores son menores a 0,05. Por consiguiente, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. Existen diferencias estadísticamente significativas en la composición fisicoquímica del agua entre las tres zonas. Y tras revisar los datos, se observa que el pH, TDS y Conductividad tienden a aumentar en la zona Oeste (debido probablemente a la disolución de minerales en los tramos largos de tubería). A pesar de estas diferencias, todos estos valores siguen estando dentro de los LMP de la norma.

Para el Cloro Residual (*p-valor* = 0,002): El *p-valor* es inferior a 0,05. En ese sentido, se rechaza *Ho* y se acepta *Ha*. Existe una diferencia altamente significativa en la cantidad de cloro residual entre las tres zonas. Mientras la zona Este cumple holgadamente la norma, la zona Oeste presenta por debajo de 0,5 mg/L (incluso llegando a 0,05 mg/L en una de las viviendas), confirmando que las diferentes zonas presentan diferentes grados de degradación del desinfectante en los puntos de consumo en las viviendas.

4.2.4 Hipótesis general

Hipótesis de investigación

Los parámetros organolépticos evaluados y el cloro residual del agua potable en las viviendas de Huaral cumplen con los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA, y presentan variaciones significativas según la ubicación geográfica de la vivienda (zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas como punto de referencia) durante diciembre de 2022.

Interpretación

En consecuencia, la hipótesis general se rechaza parcialmente. Esto se debe a que, si bien se confirma la segunda parte del enunciado (existen variaciones significativas en los parámetros según la ubicación geográfica), la primera parte, que afirmaba el cumplimiento de todos los parámetros (incluido el cloro residual) con los LMP, no se sostiene, puesto que el cloro residual incumple la normativa en la muestra evaluada.

De todo el contraste realizado a través de las pruebas paramétricas (t de Student para una muestra), no paramétricas (Rangos con signo de Wilcoxon para una muestra, Prueba binomial exacta de una proporción y Kruskal-Wallis para varias muestras independientes), se obtienen las siguientes conclusiones integradoras que dan respuesta a la hipótesis general planteada:

- Los parámetros organolépticos (Sabor, Turbiedad, pH, TDS, Conductividad y Dureza Total) presentaron *p-valores* menores a 0,05 o medianas dentro del rango permitido, por lo que sí cumplen con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA. El Olor, aunque con un *p-valor* en el límite (0,053), mostró una mediana de 6 (superior a 5), por lo que en la práctica también cumple con la aceptabilidad

sensorial. Sin embargo, el Cloro Residual es el único parámetro que no cumple la normativa. La prueba binomial exacta para una proporción (exigencia del 90 % de muestras dentro del rango 0,5 a 5,0 mg/L) arrojó un *p-valor* = 0,013, evidenciando que el porcentaje observado (66,67 %) es significativamente inferior al exigido. Además, 5 de las 15 viviendas (33,33 %) presentaron valores por debajo del mínimo absoluto de 0,3 mg/L, dejando el agua sin protección desinfectante.

Se encontró por zonas (Este, Centro y Oeste) por el análisis de Kruskal-Wallis:

- No existen diferencias significativas en los parámetros sensoriales como Olor (*p-valor* = 0,823), Sabor (*p-valor* = 0,131), Turbiedad (*p-valor* = 0,083) ni Dureza Total (*p-valor* = 0,308), ya que sus p-valores son mayores a 0,05.
- SÍ existen diferencias significativas en los parámetros pH (*p-valor* = 0,005), TDS (*p-valor* = 0,005) y Conductividad (*p-valor* =0,006) los cuales tienden a presentar ligeras variaciones (incremento o disminución) en las tres zonas evaluadas.
- La variación más crítica se da en el Cloro Residual, que obtuvo un *p-valor* = 0,002 (< 0,05). Demostrando diferencias significativas entre las zonas, evidenciando una degradación del cloro en el punto de consumo de algunas viviendas en Huaral.

En general, se cumple con los LMP para 7 de los 8 parámetros evaluados (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total). Se rechaza el cumplimiento sólo para el Cloro Residual. Respecto a sus variaciones entre las tres zonas, se acepta que existen variaciones significativas según las zonas evaluadas sólo para el cloro residual, el pH, el TDS y la conductividad.

En conclusión, el agua potable distribuida en las viviendas evaluadas en las tres zonas de Huaral durante diciembre de 2022, fue organolépticamente segura, pero presentó una falla en la desinfección, pues el cloro residual se encontró en algunas viviendas inferior al LMP. Esta falla podría estar directamente relacionada con la intermitencia del servicio (queja del 100 % de los usuarios encuestados), las condiciones de la instalación y hábitos de consumo de los residentes; lo cual permite inferir que por causas externas, los cortes de suministro generan la pérdida de la barrera desinfectante en las tuberías de la red de distribución.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

Sobre la evaluación de los niveles de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y del cloro residual del agua potable en las viviendas de Huaral respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA, y su variación según las zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas como punto de referencia durante diciembre de 2022; se encontró que todos los parámetros evaluados, a excepción del cloro residual, cumplieron con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA. Estos hallazgos coincide con lo reportado por Baldeón (2018) en la parroquia San Andrés (Ecuador), Castillo (2018) y Ferro et al. (2022) en la ciudad de Ilave (Puno), y Reynaldi y Alfiah (2022)) en Mojokerto (Indonesia), quienes encontraron que los parámetros como pH, conductividad, TDS, turbiedad y dureza total se mantenían dentro de los límites normativos en sus respectivos sistemas de abastecimiento. Por el contrario, se diferencia con los reportes de Morales et al. (2019) en San José (Costa Rica), quienes reportaron que la turbidez superaba los 5 UNT en un alto porcentaje de muestras de aguas superficiales y de la red de distribución, atribuyendo este comportamiento a la influencia de la estacionalidad climática y a la escorrentía. Asimismo, se discrepa con Sánchez et al. (2021) en Acobamba (Huancavelica), quienes encontraron que el cloro residual libre no cumplía con los LMP en el 93,33 % de las muestras. En cuanto al cloro residual, los hallazgos coinciden con Ferro et

al. (2022), Morales et al. (2019) y Colmenares y Rojas (2021) en Boyacá (Colombia), quienes reportaron valores de cloro por debajo de 0,5 mg/L en la red de distribución, atribuyéndolo a la falta de recloración, a la demanda de cloro por materia orgánica presente en las tuberías y a la obsolescencia de la infraestructura.

Específicamente, en relación al cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable respecto a los LMP del D.S. N° 031-2010-SA en viviendas de Huaral durante diciembre de 2022, se encontró que, de los siete parámetros evaluados, seis (sabor, TDS, conductividad, turbiedad, pH y dureza total) cumplen satisfactoriamente. El caso del olor fue particular, ya que, a pesar de no superar el umbral de significancia estadística (*p-valor* =0,053), su mediana resultó superior al punto de corte de aceptabilidad (5). Por lo tanto, en la práctica, el olor del agua es aceptable para el consumo, clasificándose como un cumplimiento práctico con reserva. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Baldeón (2018) en la parroquia San Andrés (Ecuador), quien encontró que el pH, los TDS y la turbiedad se mantenían dentro de los límites normativos; con Castillo (2018) y Ferro et al. (2022), quienes reportaron que el pH, la dureza total, cloruros, sulfatos, conductividad y TDS cumplían con la normativa peruana; y con Reynaldi y Alfiah (2022), quienes encontraron un pH estable (7,0-7,7) en toda la red de distribución. Asimismo, Colmenares y Rojas (2021) identificaron que, aunque existían irregularidades en algunos parámetros, otros mostraron un comportamiento homogéneo en el cumplimiento de las normas de calidad. Contrariamente a los reportes de Morales et al. (2019), quienes reportaron que la turbidez superaba los 5 UNT en el 76 % de las aguas superficiales y en el 39 % de la red de distribución, atribuyendo este comportamiento a la influencia de la estacionalidad climática y a la escorrentía. Asimismo, se discrepa con Sánchez et al. (2021), quienes reportaron un incumplimiento generalizado del cloro residual (93,33 % de las muestras). Los resultados evidencian que el agua potable distribuida en

Huaral presenta una calidad organoléptica adecuada, con todos los parámetros organolépticos dentro de los límites permisibles, lo que indica que los procesos de tratamiento aplicados son eficaces para garantizar la aceptabilidad del agua por parte de los consumidores.

Sobre el nivel de cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral durante diciembre de 2022, se encontró que el cloro residual no cumple con los LMP establecidos en dicha normativa. Esto se debe a que no se alcanza el porcentaje exigido del 90 % de las muestras dentro del rango de 0,5 a 5,0 mg/L y, además, se registraron muestras con valores inferiores al límite crítico de 0,3 mg/L. Estos hallazgos, se asemejan a lo presentado por Ferro et al. (2022), quienes encontraron que el cloro residual en todas las muestras de agua tratada se encontraba inferior a 0,5 mg/L recomendado(con valores entre 0,0 y 0,62 mg/L), atribuyéndoles a la falta de recloración en el sistema de distribución. Asimismo, coinciden con Morales et al. (2019), quienes reportaron un cloro residual promedio de 0,28 mg/L en la red de distribución, por debajo del rango aceptable, y lo asociaron a la demanda de cloro por materia orgánica presente en las tuberías y al ingreso de material externo al sistema; y con Colmenares y Rojas (2021), quienes identificaron que las irregularidades más recurrentes en la calidad del agua afectaron principalmente al cloro residual, la turbiedad y los coliformes totales. Sin embargo, se difiere con los hallazgos de Sanchez (2022) en Imperial (Cañete), quien, aunque no midió directamente el cloro residual, encontró que la calidad del servicio de agua potable era percibida como buena por el 56,2 % de los usuarios y que existía una gestión aceptable por parte de la empresa prestadora. Asimismo, se difiere con Baldeón (2018) en la parroquia San Andrés (Ecuador), quien reportó que el cloro residual osciló entre 0,31 y 0,41 mg/L, dentro del rango de 0,3 a 0,5 mg/L establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108, cumpliendo con la normativa de su país; y con Breña (2018)

en Salas (Ica), quien encontró que el 52,5 % de los encuestados consideraba que el control de cloro residual era bueno, y que existía una relación directa y significativa entre el control de cloro residual y la satisfacción del cliente. El incumplimiento del cloro residual en Huaral evidencia una falla crítica en el sistema de desinfección, al monitorearse no solo en la mañana, agravada por la intermitencia del servicio, ya que los cortes de suministro favorecen la demanda de cloro por sedimentos y biopelículas en las tuberías, reduciendo el residual al restablecerse el flujo, especialmente en zonas alejadas.

Respecto a la comparación de los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas como punto de referencia durante diciembre de 2022; no se encontraron diferencias significativas entre zonas para el olor, sabor, turbiedad y Dureza total. Por el contrario, el pH, el TDS, conductividad y cloro residual tienden a presentar diferencias significativas entre las zonas. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Reynaldi y Alfiah (2022), quienes encontraron una correlación negativa significativa entre la distancia a la planta de tratamiento y la concentración de cloro residual ($r=-0,791$; $p=0,034$), evidenciando que a mayor distancia, menor concentración de cloro. Asimismo, coinciden con Castillo (2018) en Ilave (Puno), quien encontró diferencias estadísticamente significativas en la turbiedad entre los puntos de muestreo ($F=6,34$; $p=0,033$). Contrariamente a lo reportado por Morales et al. (2019), quienes detectaron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros fisicoquímicos entre las distintas zonas de captación ($p<0,05$), atribuyéndolo a la variabilidad geomorfológica y climática. Asimismo, se difiere con Sánchez et al. (2021), quienes reportaron un incumplimiento generalizado del cloro residual en toda la red (93,33 % de las muestras) lo que evidencia que en Acobamba el problema de desinfección es más severo y generalizado, independientemente de la ubicación de las viviendas. La diferencia del cloro residual en Huaral evidencia que la dosificación en la planta de tratamiento, estado

de las tuberías de distribución e internas en las viviendas, sumada a los hábitos de almacenamiento, no son suficiente para garantizar un residual adecuado en algunas viviendas del distrito, lo que se agrava por la intermitencia del servicio, ya que los cortes de suministro favorecen la demanda de cloro por sedimentos y biopelículas en las tuberías, reduciendo el residual al restablecerse el flujo.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al evaluarse los niveles de cumplimiento de los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable respecto al LMP del D.S. N° 031-2010-SA en las 15 viviendas de Huaral, así como su variación según la ubicación de la vivienda (zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas), se concluye que la hipótesis general se acepta parcialmente. El agua distribuida cumple con siete de los ocho parámetros analizados, seis de ellos (sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) con significación estadística, y el olor en términos prácticos y sensoriales, lo que la califica como organolépticamente segura. Sin embargo, el cloro residual constituye el único parámetro que no cumple la normativa, evidenciándose una degradación en algunas viviendas, asociada directamente a la intermitencia del servicio, condiciones de almacenamiento interno y hábitos de consumo, lo que provocó la pérdida de la barrera desinfectante durante diciembre de 2022.

Al determinarse el nivel de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable respecto al LMP del D.S. N° 031-2010-SA, se concluye que los siete parámetros evaluados (sabor, olor, TDS, conductividad, turbiedad, pH y dureza total) cumplen satisfactoriamente con la normativa sanitaria. De todos ellos, en la práctica, el olor del agua es aceptable para el consumo.

Al determinarse el nivel de cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable respecto a los LMP del Art. 66 del D.S. N° 031-2010-SA, que indica un rango de 0,5 a 5,0 mg/L, en el 90 % de las muestras, y con la condición de que ninguna muestra sea inferior a 0,3 mg/L. A partir de ello, se concluye que el cloro residual no cumple con la normativa sanitaria. Esto se debe a que solo el 66,67 % (10 de 15 viviendas) alcanzó el rango de 0,5 a 5,0 mg/L, incumpliendo así el estándar del 90 % en la muestra evaluada. Además, cinco viviendas de la zona Oeste registraron valores críticos por debajo del límite de 0,3 mg/L. Esta insuficiencia, evidenciada por los datos de campo, corroboró que la proporción observada es significativamente inferior a la exigida por la ley, lo que representaría un grave riesgo microbiológico para el consumo humano.

Al compararse los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable entre las 15 viviendas ubicadas en zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas como punto de referencia en la ciudad de Huaral; se concluye que no existen diferencias significativas para el olor, el sabor, la turbiedad ni la dureza total entre las zonas evaluadas. Por el contrario, el pH, el TDS, la conductividad y el cloro residual tienden a presentar diferencias significativas entre las zonas, siendo esta la evidencia más contundente y relevante del estudio.

6.2 Recomendaciones

Monitorear el agua en diferentes épocas del año, recomendándose repetir las mediciones en épocas de avenida y en épocas de estiaje, ya que así se podría saber si los cambios de clima o el nivel del río afectan la calidad del agua y la efectividad del cloro, lo que a su vez ayudaría a la empresa de agua a ajustar sus tratamientos según la temporada.

Ampliar la muestra del estudio evaluando más viviendas en futuras investigaciones y eligiéndolas de manera aleatoria y representativa en toda la ciudad, con el propósito de

confirmar si los problemas detectados, especialmente la falta de cloro en algunas zonas, son una realidad general para todos los habitantes de Huaral.

Incluir análisis microbiológicos tomando muestras en las viviendas más alejadas de la Plaza de Armas para analizar si hay presencia de bacterias o coliformes, puesto que esto es clave para confirmar si, al no haber cloro residual, el agua ya está contaminada con microbios, lo que demostraría un riesgo sanitario real y urgente para los vecinos de la periferia.

Elevar el estudio a un nivel correlacional cruzando estadísticamente los datos del cloro residual con otras variables, como la distancia exacta o la cantidad de horas de servicio que recibe cada vivienda, de manera que se pueda demostrar, con números más precisos, qué tan grave es el impacto de la lejanía y la intermitencia en la pérdida del cloro.

Realizar un estudio de ingeniería hidráulica de la red usando un software especializado para simular cómo viaja el agua por todas las tuberías de Huaral, lo cual serviría para identificar con exactitud los puntos donde el agua se estanca o la presión baja, permitiendo así saber qué tramos de cañería necesitan mantenimiento o cambio urgente.

Evaluar la relación entre la presión del agua y el cloro residual registrando la presión en distintos horarios y correlacionarla con el cloro, con el fin de confirmar si las zonas con baja presión presentan menor cloro (lo que indicaría que las deficiencias hidráulicas favorecen su pérdida), para que la empresa priorice el mantenimiento de la presión como medida complementaria al ajuste de la dosis.

Controlar la pérdida de cloro por tramos o ramales de la red implementando un monitoreo sectorizado en puntos intermedios de cada ramal principal, desde la planta de suministro hasta las viviendas más alejadas, midiendo el cloro residual y la turbiedad en horarios estandarizados, con el propósito de identificar con exactitud los tramos críticos

donde el desinfectante se agota, para así priorizar el mantenimiento o la reposición de tuberías en esos puntos y mejorar la oferta del servicio en toda la red.

Estudiar la cinética de decaimiento del cloro por sectores o ramales mediante un estudio específico que mida el cloro residual en intervalos de tiempo controlados desde un punto fijo de la red, para ajustar un modelo cinético que prediga su consumo a lo largo del recorrido, lo que permitirá calcular la dosis inicial de cloro necesaria para asegurar que, luego del tiempo de tránsito hasta las zonas más lejanas, el residual se mantenga dentro de lo normado, mejorando así la eficiencia de la desinfección.

Estudiar la relación entre los cortes de agua y la dosis de cloro midiendo el tiempo que dura cada corte de suministro y cómo eso afecta la cantidad de cloro que se necesita inyectar, ya que con esa información la empresa podría saber exactamente cuánto cloro extra debe poner después de una interrupción del servicio, para asegurarse de que el desinfectante vuelva a llegar a las casas más lejanas.

Analizar el efecto del almacenamiento domiciliario del agua sobre el cloro residual midiendo el cloro al salir del grifo y después de 2, 6 y 24 horas de almacenamiento en recipientes típicos de los hogares, con el propósito de cuantificar cuánto cloro se pierde dentro de la vivienda por exposición a la luz o temperatura, para luego recomendar a los usuarios prácticas como usar recipientes opacos y tapados, asegurando que el agua que realmente beben mantenga su calidad microbiológica.

Procurar en lo posible que las mediciones de cloro residual se realicen siempre a la misma hora del día en todos los puntos de muestreo, ya que el cloro puede variar a lo largo del día por cambios en la demanda de agua y la temperatura, y al estandarizar el horario (por ejemplo, entre las 8:00 y las 10:00 a.m.) se evita que estas fluctuaciones temporales se

confundan con diferencias reales entre zonas, lo que garantiza que la comparación entre las áreas Este, Centro y Oeste refleje exclusivamente el efecto de la distancia al punto de suministro y no la hora de toma.

Estudiar el tiempo de llegada del agua desde el punto de abastecimiento hasta cada vivienda usando trazadores inocuos en la red y monitoreando su detección en los grifos de las diferentes zonas, para medir con precisión el tiempo de tránsito en cada ramal y correlacionarlo con la pérdida de cloro observada, estableciendo así si el decaimiento del desinfectante se debe principalmente al tiempo de recorrido o al estado de las tuberías.

Evaluar la instalación de puntos de recloración en la zona distante estudiando la posibilidad de colocar pequeños inyectores de cloro a lo largo de las tuberías principales, con el objetivo de "reponer" el cloro que se va perdiendo en el camino, para garantizar que el agua que llegue a los barrios más alejados cumpla con los niveles de desinfección que exige la norma.

Hacer campañas de educación para los usuarios organizando charlas y repartiendo información virtual, sobre todo en la zona distante, explicando para qué sirve el cloro y cómo almacenar el agua de manera segura en casa, con el fin de quitar el miedo al consumo de agua clorada y enseñarles prácticas sencillas, ayudando así a que gasten menos dinero hirviendo agua o comprando filtros.

Evaluar el gasto económico y el impacto en la salud mediante una encuesta que permita saber cuánto dinero gastan las familias en hervir agua o en comprar agua embotellada, y con qué frecuencia se enferman de la digestión, ya que el propósito es demostrar que una mala calidad del agua obliga a la gente a pagar más por su seguridad, y que mejorar la red de distribución les ahorraría dinero y mejoraría su calidad de vida.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.* https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales

Baldeón, J. E. (2018). *Control de la calidad del agua para consumo humano a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la Parroquia San Andrés, Chimborazo, para una gestión sanitaria eficiente.* [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional Universidad Internacional SEK. https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3166

Breña, J. C. (2018). *Control de calidad del agua potable y satisfacción del cliente en el distrito de Salas Guadalupe - Ica, 2018.* [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33687

Castillo, I. E. (2018). *Estudio fisicoquímico, microbiológico, contenido de metales pesados y alternativas de solución en el agua potable del distrito de Ilave – Puno 2018.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional San Agustín De Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7547

Colmenares, R. A., & Rojas, D. L. (2021). Análisis de los Índices de Riesgo de Calidad de Agua Potable (IRCA) en Boyacá entre 2016-2019. *Agricolae & Habitat*, *4*(1), 30-44. https://doi.org/10.22490/26653176.4315

COMEXPERU. (2024, 09 de agosto). *Acceso al servicio de agua, pero sin calidad*. https://www.comexperu.org.pe/articulo/acceso-al-servicio-de-agua-pero-sin-calidad

Cruz, N., & Centeno, E. (2020). Evaluación de la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable a partir de la percepción de personas usuarias: El caso en Cartago, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales, 54*(1), 95-122. https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-1.6

Cuenca, J., Gallardo, K., & Domínguez-Gaibor, I. (2021). Percepción social de la calidad y servicio de agua potable en la ciudad de El Coca, Orellana – Ecuador. *Green World Journal, 4*(1), 1-15. https://doi.org/10.53313/gwj41001

Dirección General de Salud Ambiental. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano: DS N° 031-2010-SA.* https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/391087/Reglamento_de_la_calidad_del_agua_para_consumo_humano__D.S._N%C2%BA_031-2010-SA20191017-26355-1yv4hfm.pdf

Ferro, P., Rossel-Bernedo, L. J., Ferró-Gonzáles, A. L., & Vaz-Moreira, I. (2022). Quality Control of Drinking Water in the City of Ilave, Region of Puno, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(17), 1-9. https://doi.org/10.3390/ijerph191710779

Google. (s.f.). [Ubicación de la ciudad de Huaral]. Recuperado el 04 de noviembre de 2021, de https://www.google.com/maps/@-11.4913845,-77.210354,4676m/data=!3m1!1e3

Hernández, M., Hernández, M., Mauri, J. L., & García, V. (2012). La filosofía, el proceso salud-enfermedad y el medio ambiente. *Revista Habanera de Ciencias Médicas, 11*(5), 727-735. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180425059019

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw-Hill Interamericana editores S.A.

Morales, E., Solano, M., Morales, R., Reyes, L., Barrantes, K., Achí, R., & Chacón, L. (2019). Evaluación de la influencia de la estacionalidad climática en calidad del agua de consumo humano en un sistema de abastecimiento en San José, Costa Rica, periodo 2017-2018. *Revista Costarricense de Salud Pública, 28*(1), 77-87. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292019000100048&lng=en&tlng=es.

Márquez, O., & Ortega, M. (2017). Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Revista Mexicana de Opinión Pública, 12*(23), 41-59. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-49112017000200041&lng=es&tlng=es.

Naciones Unidas. (2002). *Observación general Nº 15: El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales).* https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2012/8789.pdf

Naciones Unidas. (s.f). *Objetivos de desarrollo sostenible.* https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Núñez, R. (2024). *Guía de desinfección con cloro para sistemas de agua rurales*. ONGAWA Ingeniería para el Desarrollo Humano & Universidad Politécnica de Madrid. https://ongawa.org/wp-content/uploads/2025/01/Guia-Dosificacion-Cloro-Sistemas-de-Agua-Rurales-ONGAWA-UPM.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019, 20 de marzo). *Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo*. Sala de Prensa. https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/

Organización Mundial de la Salud. (2017, 12 de julio). *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro*. https://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum]*. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/89633b31-b58e-41e9-913a-a47c37713290/content

Organización Mundial de la Salud. (2022, 14 de diciembre). *Strong systems and sound investments evidence on and key insights into accelerating progress on sanitation, drinking-water and hygiene* (UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water GLAAS 2022 Report). https://www.who.int/publications/i/item/9789240065031

Organización Mundial de la Salud. (2023, 13 de setiembre). *Agua para consumo humano*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. *ReCiTeIA, 12*(1), 83-102. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/257890512_Analisis_sensorial_pruebas_orientadas_al_consumidor/links/00b495260e24536e05000000/Analisis-sensorial-pruebas-orientadas-al-consumidor.pdf

Reyes, U. F., & Nicasio, D. A. (2016). Análisis de la cantidad de cloro residual libre en el agua de los bebederos públicos en la zona centro de la ciudad de León, Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*, *2*(1), 546-550. http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/2612

Reynaldi, B., & Alfiah, T. (2022). Analysis of residual chlorine and total coliform on consumers of Perumdam Maja Tirta, Mojokerto City. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management, 6*(2), 73-78. https://doi.org/10.23969/jcbeem.v6i2.6139

Sánchez , V. G., Palomino , P. A., Antezana , p., Garayar , H. G., Espinoza , L. G., Enriquez , J. D., & Ccora , B. (2021). Concentración de compuestos clorados en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Acobamba, Huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 5*(3), 3013-3028. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.503

Sanchez, G. A. (2022). *Calidad del servicio de agua potable y su relación con la satisfacción en usuarios domésticos del distrito de Imperial, 2021.* [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95113

SINCIE. (2021a, 23 de enero). *01. Tipos, Niveles y Diseños en Investigación | PODCAST* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=0ftt84ppXWE&t=50s

SINCIE. (2021b, 03 de abril). *08. Cinco Técnicas de Recolección de Datos | PODCAST* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=NsgYAVMF-7I

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2023, 22 de junio). *El 10 % la población peruana no tiene agua potable y 23 % no accede al alcantarillado*. gob.pe. Recuperado el 12 febrero 2024 de https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/781301-el-10-la-poblacion-peruana-no-tiene-agua-potable-y-23-no-accede-al-alcantarillado

Vara, A. A. (2015). *7 pasos para elaborar una tesis* (1ª ed.). Lima, Perú: Editorial MACRO.

Velayos-Castelo, C. (2017). Cuidar la naturaleza. un diálogo filosófico con la "Laudato Si". *La albolafia: Revista de humanidades y cultura,* (10), 11-26. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6040195

Villena, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Rev Peru Med Exp Salud Publica, 35*(2), 304-308. https://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Evaluación de parámetros organolépticos y cloro residual del agua potable en viviendas de la ciudad de Huaral, 2022

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Escala	Métodos y técnicas
GENERAL • ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los parámetros organolépticos y del cloro residual del agua potable respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral, y cómo varía dicho comportamiento según la ubicación geográfica (zonas Oeste, Centro y Este, con referencia a la Plaza de Armas) durante diciembre de 2022?	**GENERAL** • cumplimiento de los parámetros organolépticos y del cloro residual del agua potable respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral, y analizar su variación según la ubicación geográfica (zonas Oeste, Centro y Este, tomando la Plaza de Armas como punto de referencia) durante diciembre de 2022.	**GENERAL** • Los parámetros organolépticos evaluados y el cloro residual del agua potable en las viviendas de Huaral cumplen con los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA, y presentan variaciones significativas según la ubicación geográfica de la vivienda (zonas Oeste, Centro y Este, con la Plaza de Armas como punto de referencia) durante diciembre de 2022.	**Variable de caracterización** 1. Parámetros organolépticos y cloro residual del agua potable	1 1 Vivienda	– Ubicación desde la plaza de Armas	– Este, Centro, Oeste	– Nominal	**TIPO DE INVESTIGACIÓN** Prospectivo Transversal Observacional Descriptivo Aplicado **DISEÑO** No experimental transversal descriptivo **POBLACIÓN Y MUESTRA** ***Población*** Agua potable que consumen las viviendas de Huaral desde la red de distribución en diciembre de 2022. **Muestra** Agua potable que consumen 15 viviendas de la ciudad de Huaral a través de la red de distribución durante el mes de diciembre de 2022. **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS** • Encuesta – Cuestionario • Observación – GPS – Colorímetro portátil (Cloro residual) – Multiparamétrico DR900 – Turbidímetro (Turbiedad) – Kit de Dureza Total (Titulación)
				1.2 Parámetros organoléptica	– Olor – Sabor – Turbiedad – pH – Conductividad – TDS – Dureza Total	– Aceptable/No aceptable – Aceptable/No aceptable – UNT – Valor de pH – µS/cm – mg/L – mg $CaCO_3$/L	– Nominal – Nominal – Razón – Intervalo – Razón – Razón – Razón	
				1 3 Cloro residual	– Cloro residual	– mg/L	– Razón	
ESPECÍFICOS • ¿Cuál es el nivel de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022?? • ¿Cuál es el nivel de cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022? • ¿Cómo varían los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad, y dureza total) y cloro residual del agua potable al comparar viviendas ubicadas en las zonas Este, Centro y Oeste con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.?	**ESPECÍFICOS** • Determinar el nivel de cumplimiento de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022 • Determinar el nivel de cumplimiento del contenido de cloro residual del agua potable con respecto a los LMP del D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022. • Comparar los parámetros organolépticos y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Este, Centro y Oeste con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.	**ESPECÍFICAS** • Los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) del agua potable cumplen con los LMP establecidos en el D.S. Nº 031-2010-SA en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022. • El contenido de cloro residual del agua potable cumple con los LMP establecidos en el D.S. Nº 031-2010-SA (Art. 66: 0,5-5 mg/L, en el 90% de muestras, ninguno <0,3 mg/L) en las viviendas de Huaral en diciembre de 2022. • Existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de los parámetros organolépticos (olor, sabor, turbiedad, pH, TDS, conductividad y dureza total) y el cloro residual del agua potable entre viviendas ubicadas en las zonas Este, Centro y Oste, con la Plaza de Armas de Huaral como punto de referencia, durante diciembre de 2022.	**Variable de interés** 2. Evaluación de parámetros organolépticos y cloro residual del agua potable	2.1. Evaluación de parámetros organolépticos	– Comparación de los parámetros organolépticos respecto al LMP del D S N° 031-2010-SA	– Cumple/Incumple	– Nominal	
					– Comparación de los parámetros organolépticos entre viviendas zona Este, Centro y Oeste	– Iguales/Diferentes	– Nominal	
				2.2. Evaluación del cloro residual	– Comparación del cloro residual respecto al LMP del D S N° 031-2010-SA	– Cumple/Incumple	– Nominal	
					– Comparación del cloro residual entre viviendas zona Este, Centro y Oeste	– Iguales/Diferentes	– Nominal	

Anexo 2. Cuestionario y prueba hedónica de olor y sabor del agua potable

I. DATOS DE LA VIVIENDA

1. Ubicación de la zona de muestreo: Este ☐ Centro ☐ Oeste ☐
2. Código interno de identificación: ☐
3. Coordenadas UTM: ☐

II. INFORMACIÓN DEL USUARIO

4. Género : ☐ Masculino ☐ Femenino
5. Edad ☐ años
6. Estado Civil: Soltero/a ☐ Casado/a ☐ Viudo/a ☐ Divorciado/a ☐
7. Nivel de estudios:

   Ninguno ☐ Primaria ☐ Secundaria ☐ Técnico ☐ Universitario ☐

   Bachiller ☐ Titulo ☐ Maestría ☐ Doctorado ☐

III. PERCEPCIONES DEL AGUA POTABLE

8. Cómo calificaría la presencia de cloro:

   Ausencia ☐ Muy débil ☐ Medio ☐ Fuerte ☐ Muy fuerte ☐
9. Bebe agua directa del grifo: Si ☐ No ☐
10. A su parecer como es la calidad de agua potable: Mala ☐ Regular ☐ Buena ☐
11. Liste tres problemas principales que ha notado en el servicio de agua potable:

1
2
3

12. Coja un vaso con agua de su grifo después de 2 minutos de abierto y perciba el olor y sabor, marque con una X su apreciación en una escala de 1 a 9, como se indica*

Puntaje	Categoría
1	Me disgusta extremadamente
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta levemente
5	No me gusta ni me disgusta

Puntaje	Categoría
6	Me gusta levemente
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta extremadamente

	Me disgusta Extremadamente								Me gusta extremadamente
OLOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SABOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota *Escala para sabor y color obtenido de Ramírez-Navas (2012, p 92)

Anexo 3. LMP de parámetros organolépticos según el D S N° 031-2010-SA

ANEXO II

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL^{-1}	1 000
8. Cloruros	mg Cl^{-} L^{-1}	250
9. Sulfatos	mg $SO_4^{=}$ L^{-1}	250
10. Dureza total	mg $CaCO_3$ L^{-1}	500
11. Amoniaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeso	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L-1	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Nota. Tomado de DIGESA (2011, p 39).

Anexo 4. LMP para cloro residual de acuerdo al D S N° 031-2010-SA

ANEXO III

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg $Sb\ L^{-1}$	0,020
2. Arsénico **(nota 1)**	mg $As\ L^{-1}$	0,010
3. Bario	mg $Ba\ L^{-1}$	0,700
4. Boro	mg $B\ L^{-1}$	1,500
5. Cadmio	mg $Cd\ L^{-1}$	0,003
6. Cianuro	mg $CN^-\ L^{-1}$	0,070
7. Cloro **(nota 2)**	mg L^{-1}	5
8. Clorito	mg L^{-1}	0,7
9. Clorato	mg L^{-1}	0,7
10. Cromo total	mg $Cr\ L^{-1}$	0,050
11. Flúor	mg $F^-\ L^{-1}$	1,000
12. Mercurio	mg $Hg\ L^{-1}$	0,001
13. Niquel	mg $Ni\ L^{-1}$	0,020
14. Nitratos	mg $NO_3\ L^{-1}$	50,00
15. Nitritos	mg $NO_2\ L^{-1}$	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg $Pb\ L^{-1}$	0,010
17. Selenio	mg $Se\ L^{-1}$	0,010
18. Molibdeno	mg $Mo\ L^{-1}$	0,07
19. Uranio	mg $U\ L^{-1}$	0,015

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL^{-1}.

Nota. Tomado de DIGESA (2011, pp 40, 42).

Anexo 5. Equipo portátil para el análisis de agua potable





Anexo 6. Turbidímetro portátil Hach 2100Q y Medidor Multiparamétrico Portátil YSI Professional Plus





Anexo 7. Kit de Prueba de Dureza HI 3812



Anexo 8. Zona Este de las viviendas evaluadas





Anexo 9. Viviendas circundantes a la plaza de armas de Huaral







Anexo 10. Aplicación de cuestionario y análisis in situ de agua potable











Anexo 11. Análisis de cloro residual y turbiedad del agua potable



Anexo 12. Aplicación de cuestionario en las viviendas de la ciudad de Huaral



Anexo 13. Normalidad Shapiro-Wilk de los parámetros analizados

	Estadístico	p-valor	¿Normal?
Olor	0,876	0,042	No
Sabor	0,730	0,001	No
Turbiedad	0,964	0,758	Si
pH	0,961	0,713	Si
TDS	0,833	0,010	No
Conductividad	0,834	0,010	No
Dureza Total	0,922	0,206	Si
Cloro Residual	0,957	0,644	Si