



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

Análisis microbiológico y fisicoquímico de agua de consumo humano del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima (octubre 2022 - mayo 2023)

TESIS

Para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico

AUTORES

Anibal CABRERA PUMACHAICO

Diego Andrés YI ZAPATA

ASESOR

Dra. María Elena SALAZAR SALVATIERRA

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cabrera A., Yi D. Análisis microbiológico y fisicoquímico de agua de consumo humano del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima (octubre 2022 - mayo 2023) [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica; 2024.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Anibal Cabrera Pumachaico
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45183295
URL de ORCID	-
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Diego Andrés Yi Zapata
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72898556
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2361-6062
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	María Elena Salazar Salvatierra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08675623
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5661-4752
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mirtha Roque Alcarraz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08644654
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Armando José Rivero Laverde

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07927118
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Juan José Ponce Cobos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10303874
Datos de investigación	
Línea de investigación	Microorganismos de interés industrial, ambiental y bioprocesos
Grupo de investigación	BIOBACT
Agencia de financiamiento	Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado. PCONFIGI 2020 – A20040871
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Carabayllo Centro poblado: A.H. Pampas de San Antonio Latitud: -11.854288 Longitud: -76.996544
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2022 - mayo 2023
URL de disciplinas OCDE	Biología celular, Microbiología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.01 Enfermedades infecciosas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.08



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO DE AGUA DE CONSUMO
HUMANO DEL A.H. PAMPAS DE SAN ANTONIO, CARABAYLLO - LIMA
(OCTUBRE 2022 – MAYO 2023)**

Que presentan los Bachilleres en Farmacia y Bioquímica:


**ANIBAL CABRERA PUMACHAICO Y
DIEGO ANDRÉS YI ZAPATA**

Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, ha obtenido la siguiente calificación final:

APROBADO CON MÁXIMOS HONORES (DIECINUEVE)

de conformidad con el Art. 14.º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para la obtención del Título Profesional de Químico Farmacéutico (a) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Lima, 17 de setiembre de 2024.


Dra. Mirtha Roque Alcarraz
Presidente


MBA. Armando José Rivero Laverde
Miembro


Mg. Juan José Ponce Cobos
Miembro



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América



FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo María Elena Salazar Salvatierra identificada con DNI N° 08675623 en mi condición de asesora acreditada con la resolución Decanal N° 000715-2023-D-FFB/UNMSM, que la Tesis cuyo título es ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL A.H. PAMPAS DE SAN ANTONIO, CARABAYLLO – LIMA (OCTUBRE 2022 – MAYO 2023), presentado por los Bachilleres en Farmacia y Bioquímica Aníbal Cabrera Pumachaico y Diego Andrés Yí Zapata, para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico.

CERTIFICO: que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 19 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Jardín Botánico, 02 de setiembre del 2023

Firma del asesor

DNI: ...08675623

Nombres y apellidos del asesor:

María Elena Salazar Salvatierra



DEDICATORIA

Anibal Cabrera Pumachaico

Dedico esta tesis a Dios por sus múltiples bendiciones, a mis padres por haber forjado el hombre que soy, a mi esposa por su constante apoyo, a mi hijo por ser mi mayor impulso; por último, pero no menos importante a la Dra. María Elena por haber sido un faro de luz en todo este hermoso proceso.

Diego Yi Zapata

Dedico este trabajo a mi familia:

A mis padres Rosa Elvira Zapata Cruz y Victor Vicente Yi Dolores por darme educación, amor y valores siempre con su máximo esfuerzo. A mis hermanos David Yi Zapata y Victor Ivan Yi Zapata por ser mi niñez y mi ejemplo en todo aspecto. A mi tío Roberto Zapata Cruz por siempre darnos su cariño, herramientas para la vida y brindarnos una perspectiva científica. A Yuly Cotrina por estar siempre a mi lado.

Agradezco profundamente a nuestra guía en esta tesis, la Dra. María Elena Salazar Salvatierra por creer en nosotros, por darnos esperanzas, por enseñar con paciencia, amor y dedicación. Gracias por el apoyo invaluable en el desarrollo de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos a través del VRIP, por financiar la presente tesis en el marco del proyecto PCONFIGI 2020 (A20040871).

ÍNDICE

CONTENIDO	
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Planteamiento del problema:	1
I.2. Objetivos	3
I.2.1. Objetivo general.....	3
I.2.2. Objetivos específicos	3
I.3. Importancia y alcance de la investigación (justificación)	3
I.4. Limitaciones de la investigación	4
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
II.1. Marco teórico.....	5
II.1.1. Agua	5
II.1.1.1. Tipos de agua	5
II.1.1.2. Fuentes de contaminación de agua de consumo humano	6
II.1.1.3. Enfermedades transmitidas por el agua.....	7
II.1.1.4. Tratamiento y desinfección del agua.....	8
II.1.2. Situación del agua	9
II.1.2.1. Contexto internacional.....	9
II.1.2.2. Contexto nacional.....	11
II.1.3. Aspectos normativos sobre la calidad del agua	13
II.1.3.1. Límites máximos permisibles	14
II.1.4. Parámetros microbiológicos relacionados a la calidad del agua de consumo humano.....	15
II.1.4.1. Bacterias patógenas.....	15

II.1.4.2.	Organismos indicadores.....	15
II.1.4.2.1.	Coliformes totales	16
II.1.4.2.2.	<i>Escherichia coli</i> y bacterias coliformes termotolerantes	16
II.1.4.3.	Recuentos de heterótrofos en placa.....	16
II.1.5.	Parámetros fisicoquímicos relacionados a la calidad del agua de consumo humano.....	16
II.1.5.1.	Turbiedad	17
II.1.5.2.	pH.....	17
II.1.5.3.	Cloro libre y cloro residual.....	17
II.2.	Antecedentes del estudio	17
II.2.1	Antecedentes nacionales	17
II.2.2	Antecedentes Internacionales	19
II.3.	Bases teóricas.....	20
II.3.1.	Calidad microbiológica del agua para consumo humano	20
II.3.2.	Calidad fisicoquímica del agua para consumo humano	20
II.4.	Glosario de términos	21
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	22
III.1.	Hipótesis	22
III.2.	Variables	22
III.3.	Operacionalización de variables	23
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
IV.1.	Área de estudio.....	25
IV.2.	Diseño de investigación	25
IV.3.	Población y muestra	25
IV.4.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	26
IV.4.1.	Análisis microbiológicos.....	27
IV.4.2.	Análisis fisicoquímicos	29

IV.5. Análisis estadístico	30
V. RESULTADOS	30
V.1. Presentación y análisis de los resultados.....	30
V.1.1. Revisión del tipo de envase por muestra	30
V.1.2. Resultados microbiológicos	33
V.1.3. Resultados fisicoquímicos	40
VI. DISCUSIÓN	47
VII. CONCLUSIONES.....	53
VIII. RECOMENDACIONES	54
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
X. ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límite máximo permisible de parámetros fisicoquímicos según NTP Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA	14
Tabla 2. Límite máximo permisible de parámetros microbiológicos según NTP Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA	14
Tabla 3. Recipientes utilizados en el almacenamiento de agua	30
Tabla 4. Tipo de recipiente de almacenamiento de agua por muestra	31
Tabla 5. Análisis microbiológico de las muestras de agua de consumo humano recolectadas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima (octubre 2022 - mayo 2023)	33
Tabla 6 Recuento de bacterias coliformes totales, coliformes termotolerantes y Pseudomonas aeruginosa provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023	36
Tabla 7 Recuento de bacterias heterotróficas provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023	39
Tabla 8 Análisis fisicoquímico de las muestras de agua de consumo humano recolectadas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima (octubre 2022 - mayo 2023)	40
Tabla 9 Resultado fisicoquímico de muestras de agua de consumo humano recolectadas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Recipientes utilizados en el almacenamiento de agua	32
Figura 2 Resultado del recuento de bacterias coliformes totales, coliformes termotolerantes y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	37
Figura 3 Resultados de pH por muestra de agua de consumo provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima 2022-2023	43
Figura 4 Resultados de turbiedad por muestra de agua de consumo provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima 2022-2023.....	44
Figura 5 Resultados de cloro residual y cloro total por muestra de agua de consumo provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima 2022-2023	45

ANEXOS

Anexo 1 "Mapa del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo"	64
Anexo 2 "Tipos de recipientes utilizados para almacenamiento de agua en el A.H. Pampas de San Antonio"	65

RESUMEN

Objetivo: Realizar los análisis microbiológicos y fisicoquímicos del agua de consumo humano del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023. **Metodología:** Se realizó una investigación de enfoque cuantitativo, descriptivo y transversal. Se tomó un total de 60 ejemplares de agua de consumo contenidos en recipientes de almacenamiento, recolectados de forma aleatoria, por cada vivienda. Se realizaron análisis microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Pseudomonas aeruginosa*, bacterias heterotróficas) y fisicoquímicos (turbiedad, pH, cloro residual y cloro total). **Resultados:** El 80% de familias recolecta agua de consumo en tanques estándar de polietileno. Respecto al análisis microbiológico, el 98% de las muestras no cumplen los límites máximos permisibles para coliformes totales. El 100% de muestras es conforme para coliformes termotolerantes. El 16,67% es no conforme debido a la presencia de *Pseudomonas aeruginosa* y el 53,33% de las muestras superaron el límite máximo permisible para bacterias heterotróficas.

Respecto a los análisis fisicoquímicos el 98,33% de las muestras cumple con el límite máximo permisible de turbiedad y pH. El 100% de las muestras es conforme con el límite máximo permisible de cloro total (≤ 5 mg / L) y el 98,33% de las muestras no cumple con la especificación de cloro residual que exige la normativa peruana (0,5 - 5 mg / L).

Conclusión: Se determinó que el agua de consumo humano del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo – Lima no cumple con los criterios microbiológicos y fisicoquímicos según la normativa peruana.

Palabras clave: Calidad microbiológica, calidad fisicoquímica, agua de consumo, (A.H) asentamiento humano

ABSTRACT

Objective: To perform microbiological and physicochemical analysis of drinking water in the human settlement “Pampas de San Antonio”, district of Carabaylo - Lima 2022-2023. **Methodology:** A quantitative, descriptive and cross-sectional study was conducted. A total of 60 samples of drinking water were taken from storage containers, randomly collected from each house. Microbiological (total coliforms, thermotolerant coliforms, *Pseudomonas aeruginosa*, heterotrophic bacteria) and physicochemical (turbidity, pH, residual chlorine and total chlorine) analyses were performed. **Results:** The 80% of the families collected drinking water in standard polyethylene tanks. Regarding microbiological analysis, 98% of the samples do not comply with the maximum permissible limits for total coliforms. The 100% of the samples are compliant for thermotolerant coliforms. The 16,67% is non-compliant due to the presence of *Pseudomonas aeruginosa* and 53.33% of the samples exceeded the maximum permissible limit for heterotrophic bacteria. Regarding physicochemical analyses, 98.33% of the samples comply with the maximum permissible limit for turbidity and pH. The 100% of the samples comply with the maximum permissible limit for total chlorine (≤ 5 mg/L) and 98.33% of the samples do not comply with the residual chlorine specification required by Peruvian regulations (0.5 - 5 mg/L).

Conclusion: It was determined that the drinking water in the A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima does not comply the microbiological and physicochemical criteria according to Peruvian regulations.

Key words: microbiological quality, physicochemical quality, drinking water, human settlement.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Planteamiento del problema:

El agua es de necesidad básica no sólo para la salud y bienestar del ser humano, sino para todo ser vivo. Es así, que el acceso al agua de consumo humano seguro, el saneamiento y la higiene resultan imprescindibles para la supervivencia humana, para promover la salud, el desarrollo socio económico de los países y la formación de ecosistemas saludables, por lo que el objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) busca garantizar su disponibilidad. El acelerado crecimiento de la población, la urbanización y las necesidades relacionadas al agua por parte de diversos sectores como el agrícola, industrial y energético provocan un aumento de la demanda de agua. Actualmente la demanda de agua ya supera el crecimiento demográfico. La mitad de la población mundial sufre una grave escasez de agua durante al menos un mes al año según la OMS, y lo más preocupante no hay datos de la calidad de agua a la cual acceden más de 3 mil millones de personas, lo que significa un riesgo para su salud. ¹

En el año 2022, según el informe de los ODS, 2200 millones de personas no tenían agua potable gestionada de forma segura, entre los cuales 703 millones no contaban con un servicio básico de agua.²

El saneamiento es el acceso y uso de instalaciones y servicios para la eliminación de la orina y las heces humanas.³

El saneamiento deficiente está relacionado a la transmisión de enfermedades diarreicas como el cólera y la disentería. Según el reporte de la OMS, 1.4 millones de personas mueren cada año por falta de agua potable, saneamiento e higiene adecuados. Los riesgos asociados con el saneamiento equivalen a 564 000 de estas muertes, en su mayor parte

debidas a enfermedades diarreicas. El saneamiento deficiente contribuye a la malnutrición y también es un factor importante que guarda relación con varias enfermedades tropicales desatendidas como las helmiantosis intestinales, la esquistosomiasis y el tracoma.⁴

Según la OMS en el 2022, 43 % de la población mundial (3500 millones de personas) carecían de un saneamiento gestionado de manera segura. Más de 1500 millones no disponían de servicios básicos de saneamiento como retretes o letrinas privados, de ellas 419 millones todavía defecan al aire libre, por ejemplo, en alcantarillas, arbustos o en masas abiertas de agua. 2000 millones carecían de una instalación básica para lavarse las manos, lo que incluye a 653 millones de personas sin ninguna instalación para lavarse las manos.⁵

En el caso de América Latina y el Caribe el 50,8 % de la población no tiene un saneamiento gestionado de forma segura.⁶

Entre las medidas necesarias para garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible de aquí a 2030 se encuentran las inversiones en infraestructuras e instalaciones de saneamiento, la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua, así como la educación en materia de higiene. Además, la mejora del uso eficiente de los recursos hídricos es una de las claves para reducir el estrés hídrico.⁷

Las personas del asentamiento humano Pampas de San Antonio ubicado en el distrito de Carabayllo carecen de un sistema de alcantarillado y distribución del agua. Debido esto, el estado realiza el reparto de agua potable a través camiones cisterna autorizados. A pesar de estas acciones, las familias no llegan a volúmenes suficientes de agua para consumo humano para subsistir y por esto toman la decisión de abastecerse total o parcialmente de agua provenientes de ambulantes con una calidad fisicoquímico y microbiológicamente cuestionable. Estos

ambulantes venden agua en cisternas, carretillas y otros medios que contribuyen a la contaminación del agua. Sumado a factores socioculturales propios del lugar como el inadecuado almacenamiento, transporte y desinfección del agua de consumo humano. Debido a esto el presente trabajo buscó analizar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de consumo humano en el A.H. Las pampas de San Antonio.⁸

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo general

Realizar los análisis microbiológicos y fisicoquímicos del agua de consumo humano del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023.

I.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los recuentos de bacterias coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Pseudomonas aeruginosa* provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023
- Realizar el recuento de bacterias heterotróficas provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023
- Determinar los niveles de turbiedad, pH, cloro total y cloro residual provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023

I.3. Importancia y alcance de la investigación (justificación)

El presente estudio es importante porque la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de consumo está directamente relacionada con la salud de la población. Detectar el grado de contaminación en zonas que carecen de servicios básicos como los asentamientos humanos, puede

mitigar riesgos y prevenir enfermedades graves relacionadas con bacterias, virus, productos químicos.

En lugares poco estudiados como los asentamientos humanos del distrito Carabaylo, la realización de análisis de la calidad de agua crea una línea investigación para futuros monitoreos e investigaciones. Esto permite hacer comparaciones a lo largo del tiempo como el desarrollo de políticas públicas y planificación.

La justificación metodológica radica en la selección de técnicas de análisis microbiológico y fisicoquímico que son consistentes con estudios previos y que abordan las necesidades específicas del estudio. Los métodos elegidos proporcionan resultados confiables que reflejan la situación del agua de consumo del área de estudio.

I.4. Limitaciones de la investigación

Como limitaciones del presente estudio, se reporta la falta de datos sobre la calidad del agua de consumo del A. H. Pampas de San Antonio en Carabaylo, así como el acceso a la información histórica sobre los límites geográficos, habitantes, número de viviendas y familias del asentamiento humano que pueda proporcionar el estado para la investigación de la calidad de este recurso vital para el ser humano. También la inseguridad ciudadana, falta de asfaltado y falta de luz eléctrica en determinadas zonas del asentamiento humano fueron una limitante que ocasionaba realizar el recojo de la muestra caminando durante en el día.

Una limitación importante para detallar durante el muestreo fue la dispersión de viviendas dentro del A. H. Pampas de San Antonio dado que hay viviendas alejadas unas con otras, terrenos despoblados, basurales, criaderos informales de animales, pero pocas viviendas; lo cual genera un mayor recorrido para ubicar un domicilio disponible. Si bien esto es generalizado a todo el asentamiento humano se observa con mayor frecuencia a medida subimos la pendiente y nos dirigimos a las zonas altas del asentamiento, a diferencia de las zonas bajas donde hay mayor concentración de viviendas. Otra limitante fue la no participación de los

propietarios que, por desconfianza, ausencia, seguridad u otros motivos no estaban dispuestos a dar su consentimiento a la recolección.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

II.1. Marco teórico

II.1.1. Agua

El agua es un recurso natural fundamental para la vida de todos los organismos vivos. Representa 71 % de la superficie de la tierra y del cual, 97 % es agua de mar, que no suele estar disponible para el consumo humano; por eso la población mundial depende del 3 % restante correspondiente al agua dulce. La mayoría del agua dulce disponible forma parte de la capa de hielo polar o los glaciares, también en forma de agua subterránea y en pantanos. Solamente el 0,3 % del agua dulce del mundo está en forma de lagos y ríos que sirven para riego, piscicultura, transporte marítimo, fuentes de agua industrial y potable.⁹

II.1.1.1. Tipos de agua

La Norma Técnica Peruana NTP 214.040 presenta algunas de las siguientes definiciones relacionadas a la caracterización de las aguas:¹⁰

- Agua natural: Se denomina así al agua tal como se encuentra en la naturaleza.
- Agua cruda: Agua en estado natural captada para abastecimiento, que no ha recibido a ningún tipo de tratamiento, o agua que entra a una planta para tratamiento posterior.
- Agua tratada: Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto apto para el consumo humano.

- Agua para consumo humano (Agua potable): Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. Cumple con las normas de calidad nacional.
- Agua residual: Agua cuya composición y calidad original han sido afectadas como resultado de su utilización.

II.1.1.2. Fuentes de contaminación de agua de consumo humano

Las fuentes de contaminación del agua de consumo humano pueden ser diversas y se clasifican en dos categorías principales¹¹:

Fuentes Naturales de Contaminación: Estas fuentes involucran contaminantes presentes en el ambiente de manera natural y pueden incluir:

- Contaminantes Geológicos: Incluyen minerales y elementos como el arsénico, el plomo y el mercurio, que pueden infiltrarse en el agua subterránea a través de formaciones geológicas.
- Contaminantes Biológicos: Microorganismos como bacterias, virus y parásitos que pueden estar presentes en cuerpos de agua naturales y representar un riesgo para la salud humana si no se tratan adecuadamente.

Fuentes Antropogénicas de Contaminación: Estas fuentes están relacionadas con la actividad humana y pueden incluir:

- Contaminación Industrial: Liberación de productos químicos tóxicos y metales pesados desde instalaciones industriales.
- Contaminación Agrícola: Uso de pesticidas y fertilizantes que pueden lixiviar en el suelo y llegar a fuentes de agua, así como la acumulación de residuos de animales en aguas superficiales.

- Contaminación Doméstica: Descargas de aguas residuales no tratadas que contienen materia orgánica y microorganismos patógenos.
- Desechos Sólidos y Basura: La disposición inadecuada de desechos sólidos y basura puede contaminar cuerpos de agua cercanos.
- Contaminación de Combustibles y Aceites: Derrames de productos petroleros y aceites industriales en cuerpos de agua.

II.1.1.3. Enfermedades transmitidas por el agua

Las enfermedades transmitidas por el agua son patologías que se adquieren al consumir agua contaminada con microorganismos patógenos, virus, bacterias y parásitos. Estos microorganismos pueden ingresar al suministro de agua a través de diversas fuentes de contaminación y, si no se toman medidas adecuadas para su eliminación, pueden representar un riesgo significativo para la salud humana¹².

Algunas de las enfermedades transmitidas por el agua más comunes incluyen:

- ✓ **Diarrea:** La diarrea es una enfermedad gastrointestinal caracterizada por heces líquidas y frecuentes. Es causada comúnmente por bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella*, así como por parásitos como Giardia y Cryptosporidium.
- ✓ **Cólera:** Es una enfermedad bacteriana grave causada por la bacteria *Vibrio cholerae*. Puede llevar a una rápida deshidratación y, en casos graves, a la muerte si no se trata rápidamente.
- ✓ **Hepatitis A:** Es una infección viral del hígado que se transmite a través del consumo de agua o alimentos contaminados con el virus de la hepatitis A.

- ✓ Fiebre Tifoidea: Causada por la bacteria *Salmonella Typhi*, se transmite por la ingestión de agua o alimentos contaminados. Puede provocar fiebre alta y otros síntomas graves.

- ✓ Infecciones Gastrointestinales: Además de las enfermedades mencionadas, el agua contaminada también puede transmitir otras infecciones gastrointestinales, como la infección por *Campylobacter* y *Shigella*.

- ✓ Infecciones por *Pseudomonas aeruginosa*: es una bacteria oportunista que puede causar infecciones en personas con sistemas inmunológicos debilitados o en pacientes hospitalizados. Puede manifestarse en diversas formas, como infecciones respiratorias, del tracto urinario y de heridas.

II.1.1.4. Tratamiento y desinfección del agua

El tratamiento y desinfección del agua son procesos fundamentales en el suministro de agua potable. El tratamiento del agua implica una serie de etapas que incluyen la coagulación, la sedimentación, la filtración y la desinfección. Estos procesos tienen como objetivo la eliminación de impurezas, sólidos suspendidos y microorganismos, mejorando así la calidad del agua y asegurando que cumpla con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano. La desinfección del agua se lleva a cabo mediante agentes químicos o físicos, como el cloro, la ozonización o la radiación ultravioleta, con el fin de inactivar o eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua, garantizando su seguridad para el consumo humano.

La desinfección con cloro tal vez sea el mecanismo más al alcance en todo el mundo. Y en la cloración, se debe asegurar que exista un residuo de cloro libre, se recomienda que sea 0,5 ppm después de haber estado un tiempo de contacto mínimo de media hora, esto permitirá eliminar las bacterias y virus entéricos¹³.

II.1.2. Situación del agua

El agua es un recurso limitado e insustituible que es importante y crítico para el bienestar humano y de todo ser vivo, y se debe tener en cuenta que solo funciona como recurso renovable si está bien gestionado. Por esto, la importancia de la gestión del agua, el saneamiento y la higiene para el desarrollo de los países ha quedado documentada en diversos foros internacionales sobre políticas de regulación del agua potable, que luego son aplicados al resto de las naciones¹⁴.

II.1.2.1. Contexto internacional

Las Naciones Unidas a través de diferentes conferencias ha abordado los problemas relacionados al insuficiente abastecimiento de agua y su creciente demanda. Por ejemplo, la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua en 1977 que dio inicio al Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental desde 1981 al 1990, tanto la Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente como la Cumbre para la Tierra también ambos en 1992. En el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, se declara el periodo del 2005 al 2015 como el Decenio Internacional para la Acción “Agua, fuente de vida”^{15, 16}.

En 2015 como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo sostenible, se aprobaron los 17 Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS), entre los cuales está el ODS 6 Agua limpia y saneamiento. En 2023 se realizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua 2023 adoptándose la Agenda de Acción sobre el Agua para representar el compromiso de las naciones para alcanzar los objetivos¹.

El estrés hídrico a nivel mundial (que ocurre cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible) se mantuvo en un nivel seguro del 18,2 % en 2020, esto no refleja lo experimentado por otras regiones como Asia central y meridional con valores superiores al 75 %, y África

septentrional que tiene estrés hídrico por escasez de agua que supera el 100 %. Tanto África septentrional como Asia Occidental han experimentado un aumento del 18 % del estrés hídrico entre 2015 al 2020. Una de las claves para reducir el estrés hídrico es mejorar la eficiencia en su uso, este parámetro aumento en un 9 % a nivel mundial².

El problema de la escasez del agua se ha estado abordando principalmente desde la perspectiva de la cantidad de agua, sin embargo, hay dimensiones no exploradas como la calidad del agua y nuevas tecnologías de agua limpia. También reporta que el impacto en la calidad del agua es particularmente alto en regiones con grave escasez como en el este de China y la India.¹⁷

A nivel mundial, las empresas responsables del suministro de agua enfrentan la escasez de agua proporcionando fuentes alternativas, por ejemplo, reutilización y recolección de agua de lluvia; reduciendo el consumo con un suministro intermitente de agua; en otros casos, buscan el aumento del suministro del agua (realizando mezcla de agua subterránea tratada con el agua superficial terminada u otras) y distribuyendo agua a granel utilizando camiones cisterna. En países en vías de desarrollo de África, América del Sur y Asia se realiza un suministro intermitente de agua potable a una frecuencia diaria, semanal o estacional, esto quiere decir que el agua de la red de distribución se proporciona en un tiempo menor de 24 horas al día. El suministro intermitente puede ocasionar un deterioro de la calidad del agua a través de fugas y reflujos de contaminantes en las tuberías. En algunas regiones de Medio Oriente, América del sur y África, los consumidores utilizan tanques de almacenamiento doméstico para reservar agua durante periodos de escasez, esto puede generar crecimiento microbiano por estancamiento, mala ubicación o corrosión del material del tanque. El suministro a granel ocurre en regiones rurales aisladas que no cuentan con redes de distribución de agua potable de países en desarrollo, en regiones árticas donde no se puede transportar el agua a través de tubería debido al permafrost e inclusive en países desarrollados durante emergencias como incendios forestales y

sismos. Para estas situaciones el suministro a granel se realiza a través de camiones cisterna que, si no cumplen con buenas prácticas sanitarias durante el llenado, transporte, almacenamiento y distribución final de agua, puede resultar en un peligro para la salud de los consumidores debido a una contaminación microbiológica del agua entregada.¹⁸

II.1.2.2. Contexto nacional

En el contexto nacional, el agua es un recurso de gran relevancia debido a su papel en la agricultura, la generación de energía, la industria y el abastecimiento de agua potable. El país cuenta con una gran variedad de fuentes de agua, desde ríos que fluyen desde los Andes hasta vastas reservas de agua subterránea²⁴. Sin embargo, también enfrenta desafíos en la gestión del agua, como la contaminación de ríos y cuerpos de agua, la deforestación y la erosión del suelo, que pueden afectar negativamente la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Además, la variabilidad climática y los fenómenos de El Niño pueden dar lugar a sequías e inundaciones, lo que hace que la gestión sostenible del agua sea esencial para el país²⁵.

Hernández en el año 2021, reportó que el acceso al agua potable en los hogares peruanos aumentó a 52 % desde el año 2008 hasta el 2018.¹⁹

Según el informe técnico “Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico” del Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI) en el periodo de mayo 2019 a abril 2020, a nivel nacional, 90,8 % (29 millones 525 mil) de la población peruana accede al servicio de agua para consumo humano proveniente de red pública. Según el área de residencia, 94,8 % de la población urbana accede al servicio, mientras que el área rural representa 76,3 %. En el área urbana, 5,2 % de la población no tiene acceso a agua por red pública, motivo por el cual se abastecen por camión-cisterna (1,4 %), pozo (1 %) y río, acequia o manantial u otro (2,8 %).²⁰

En una revisión bibliográfica sobre la calidad del agua, Villena en el 2018 reporta que la alta dispersión de asentamientos humanos es uno de los principales problemas para brindar servicios de agua y saneamiento. A estos se suma, que en el Perú solo 29,1 % del agua residual doméstica recibe tratamiento y por lo tanto las cuencas hidrográficas tienen exposición a aguas residuales generando un riesgo a la salud, debido a esto, la vigilancia de la calidad del agua desde la fuente hasta el consumo debe ser una prioridad para lograr un desarrollo sostenible.²¹

También lo reportado en el estudio epidemiológico realizado en el A.H Minas 2000 en el distrito de San Juan de Miraflores realizado por Malika (2021), donde se reporta la asociación entre la falta de lavado de manos con la cantidad de niños en el hogar y la duración de la estadía en el asentamiento humano. Reporta además que sólo 42 % de los hogares del A.H. tuvo una cantidad suficiente de agua por día, esto debido a que no había sistema de alcantarillado y la comunidad debía comprar y almacenar agua en algunos casos en contenedores de almacenamiento cubiertos y otras veces expuestos a la intemperie.²²

En un estudio realizado por Hernández 2022, se analizó la información de 886 participantes donde encontró que 25,2 % de las fuentes de suministro de agua para consumo humano de los hogares tenían *E. coli* en el momento del muestreo. Se reportó que los hogares que usaban baldes u otros recipientes como reservorios de agua, o pertenecientes a un quintil de pobreza, y ubicados en zonas rurales entre otros tenían mayores probabilidades de que el abastecimiento de agua para consumo humano tuviera *E. coli*, caso contrario ocurre en hogares con educación superior y donde el agua está en concentraciones de 0.5 mg/mL de cloro o más en agua.²³

II.1.3.Aspectos normativos sobre la calidad del agua

El Perú adopta un enfoque de derecho humano para la gestión de la calidad del agua, considerando que la calidad es el principal problema respecto al agua potable. La normativa peruana se rige por el D.S. N°031-2010-SA “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” en el cual se establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano, entre otros.^{15, 26}

Además, cuenta con otros instrumentos jurídicos como la R.M. N° 908-2014/MINSA “Directiva sanitaria para la formulación, aprobación y aplicación del plan de control de calidad (PCC) por los proveedores de agua para consumo humano”²⁷ y la R.M. N° 907-2016/MINSA “Definiciones operacionales y criterios de programación y de medición de avances de los programas presupuestales”²⁸.

II.1.3.1. Límites máximos permisibles

Toda agua destinada para el consumo humano debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos por el D.S. N°031-2010-SA “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”

Tabla 1. Límite máximo permisible de parámetros fisicoquímicos según NTP Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA

Límite máximo permisible de parámetros fisicoquímicos		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad UNT	UNT	< 5 UNT
Cloro total	mg / L	≤ 5 mg / L
Parámetros	Unidad de medida	Criterios de aceptación
pH	Valor de pH	6,5 - 8,5
Cloro residual	mg / L	0,5 - 5 mg / L

UNT: Unidad nefelométrica de turbiedad

Tabla 2. Límite máximo permisible de parámetros microbiológicos según NTP Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA

Límite máximo permisible de parámetros microbiológicos		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Coliformes totales	UFC / 100 mL	0
<i>E. coli</i>	UFC / 100 mL	0
Coliformes termotolerantes	UFC / 100 mL	0
Bacterias Heterotróficas	UFC / mL	500

II.1.4. Parámetros microbiológicos relacionados a la calidad del agua de consumo humano

Los parámetros microbiológicos son fundamentales para evaluar y garantizar la calidad del agua de consumo humano, ya que proporcionan información sobre la presencia de microorganismos que pueden afectar la salud de las personas. Estos parámetros incluyen bacterias patógenas, organismos indicadores y otros microorganismos relevantes³⁰.

II.1.4.1. Bacterias patógenas

Son microorganismos que pueden causar enfermedades en los seres humanos si se ingieren a través del agua contaminada.

II.1.4.1.1. *Pseudomonas aeruginosa*

Es una bacteria gramnegativa ampliamente distribuida en la naturaleza y puede encontrarse en diversas fuentes de agua. Es conocida por su versatilidad y resistencia a varios desinfectantes y condiciones ambientales adversas. Aunque no es un coliforme termotolerante ni un indicador común de contaminación fecal, es importante tenerlo en cuenta debido a su capacidad de causar infecciones en seres humanos, especialmente en individuos con sistemas inmunológicos debilitados o en entornos hospitalarios, al ser un oportunista³¹. Las infecciones por *Pseudomonas aeruginosa* pueden manifestarse en varias formas, incluyendo infecciones respiratorias, urinarias, del tracto cutáneo y de heridas. Su detección en el agua es de gran preocupación, especialmente en contextos donde se encuentra en concentraciones elevadas, como instalaciones de salud o sistemas de distribución de agua mal mantenidos³².

II.1.4.2. Organismos indicadores

Los organismos indicadores, como los coliformes totales y *Escherichia coli*, se utilizan para evaluar la posible contaminación fecal del agua. Su presencia sugiere la existencia de desechos humanos u otros contaminantes

orgánicos, lo que podría indicar la presencia de patógenos que se transmiten por vía fecal-oral, como *Salmonella* o virus entéricos³⁰.

II.1.4.2.1. Coliformes totales

Estos son un grupo de bacterias que se encuentra en el intestino de mamíferos de sangre caliente. Su detección en el agua indica la posible presencia de contaminación fecal, lo que es una señal de advertencia para evaluar la calidad del agua y su potencial riesgo para la salud³³.

II.1.4.2.2. *Escherichia coli* y bacterias coliformes termotolerantes

E. coli y las bacterias coliformes termotolerantes son subgrupos de los coliformes totales. Su presencia es un indicador más específico de contaminación fecal, ya que generalmente se encuentran exclusivamente en el intestino de mamíferos, y su detección sugiere una contaminación más reciente y específica³⁴.

II.1.4.3. Recuentos de heterótrofos en placa

Estos recuentos miden la cantidad de microorganismos que pueden crecer en medios de cultivo. Los heterótrofos son microorganismos que se alimentan de materia orgánica y su presencia indica la existencia de nutrientes y condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano en el agua. Aunque no todos los heterótrofos son patógenos, su presencia puede ser un indicativo de la calidad general del agua y su capacidad para mantener la vida bacteriana³³.

II.1.5. Parámetros fisicoquímicos relacionados a la calidad del agua de consumo humano

Los parámetros fisicoquímicos son fundamentales para evaluar y asegurar la calidad del agua de consumo humano, ya que proporcionan información sobre las características físicas y químicas del agua. Los parámetros incluyen la Turbiedad, el pH y la concentración de cloro libre y cloro residual³⁵.

II.1.5.1. Turbiedad

La Turbiedad del agua se refiere a la claridad o la falta de claridad del agua debido a la presencia de partículas suspendidas, sólidos en suspensión o sedimentos. Una alta Turbiedad puede dificultar la desinfección y el tratamiento del agua, ya que las partículas pueden albergar microorganismos patógenos³⁶.

II.1.5.2. pH

El pH del agua indica su acidez o alcalinidad. El agua con un pH neutro tiene un valor de 7. Valores de pH por debajo de 7 indican acidez, mientras que valores por encima de 7 indican alcalinidad. El pH del agua puede influir en la efectividad de los desinfectantes y en la corrosión de las tuberías de distribución³⁷.

II.1.5.3. Cloro libre y cloro residual

El cloro libre y el cloro residual son indicadores de la desinfección del agua. El cloro es un desinfectante comúnmente utilizado para eliminar microorganismos patógenos en el agua. El cloro libre se refiere al cloro presente en el agua antes de su interacción con contaminantes. El cloro residual es la cantidad de cloro que permanece en el agua después de su reacción con los contaminantes³⁸.

II.2. Antecedentes del estudio

II.2.1 Antecedentes nacionales

Gonzales, W. *et al.* (2023) analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en agua de consumo humano provenientes de reservorios, para lo cual muestrearon en 17 puntos de seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica. Obtuvieron que solo un punto de muestreo (5,9 %) superó el límite de Turbiedad (5 UNT) permitido por la normativa peruana. Todos los demás parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los umbrales permitidos. En cuanto a los parámetros microbiológicos (*E. coli*, coliformes termotolerantes y fecales), 4 puntos de muestreo (23,5 %) superó el límite permitido.

excedieron el valor límite permitido por el reglamento de agua de consumo humano. Se pudo concluir que la alta contaminación microbiológica en el agua de comunidades andinas de Huancavelica destaca la necesidad urgente de mejorar su calidad para proteger la salud pública³⁹.

Brousett, M. *et al.* (2018) analizaron agua para consumo humano en Puno, incluyendo 23 metales recomendados para monitorear por la OMS, siguiendo métodos normalizados (APHA, AWWA). Hallaron que los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los rangos aceptables, excepto por el exceso de aluminio en el agua superficial (0,065 mg/L) y boro en aguas subterráneas (0,025 mg/L). Además, se detectaron altos niveles de coliformes totales durante la temporada de lluvias, llegando a 11866.6 UFC/100mL (± 813.5) como valor máximo, concluyendo que el agua que abastece a Chullunquiani no cumplía con las normativas microbiológicas, lo que resalta la necesidad urgente de implementar un programa de monitoreo para garantizar la calidad y seguridad del suministro de agua⁴⁰.

Ruiz, E. (2022) evaluaron la calidad del agua para consumo humano del Centro Poblado de Buena Vista en Oxapampa. Analizaron diversos parámetros fisicoquímicos (turbiedad, temperatura, dureza, color, sólidos disueltos totales, pH y conductividad) y microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*). Obtuvieron que los valores se encontraban dentro de los límites permitidos por las regulaciones: turbiedad < 0,40; dureza 23,07; sólidos disueltos Totales 60,5; pH 7,28; conductividad 69,2. En los parámetros microbiológicos, coliformes totales < 1,1; coliformes fecales < 1,1 y ausencia de *Escherichia coli*; concluyendo que la calidad del agua en Buena Vista era adecuada para consumo humano, cumpliendo con los estándares⁴¹.

Elías J *et al.* (2020) analizaron muestras de agua de 14 localidades en 03 puntos de muestreo: pozo, reservorio y red pública de Rázuri en La Libertad. Los análisis microbiológicos se realizaron en el laboratorio de la Oficina de Salud Ambiental de GERESA/LL. Obteniendo como resultados que la calidad bacteriológica del agua fue apta para localidades como Puerto

Malabrigo, Monte Seco, El Paraíso, La Perla de Macabí, Macabí Alto, La Línea, El Pancal. No apta para San Mateo, El Palomar, Santa Rosa, Los García, La Corlib, El Algodonal, Nuevo Paraíso. El agua potable fue apta en 100 % de la zona urbana (SEDALIB) y 50 % en la zona rural (JASS). Concluyeron que la calidad bacteriológica del agua varía en diferentes localidades, siendo apta en algunas zonas urbanas y rurales, y no apta mayormente en otras áreas rurales⁴².

II.2.2 Antecedentes Internacionales

Barakat, A. *et al.* (2018) llevaron a cabo análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua de manantial para consumo humano en Marruecos, reportando conformidad en los parámetros como temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad total, dureza total, entre otros. Sin embargo, se halló presencia de coliformes totales y fecales, *Escherichia coli* y *enterococos* intestinales. Recomendaron que es necesario que haya mejor tratamiento.⁴³

Tibanquiza, S. (2018) analizaron muestras de agua de diferentes puntos de la Junta Administradora de Agua Potable en Ecuador, siguiendo las normativas correspondientes. Observaron que algunos parámetros químicos, como el flúor, no cumplieron con los estándares. Además, los parámetros físicos, como el pH, turbiedad y color, estuvieron fuera de los límites requeridos. En el análisis microbiológico, una proporción significativa de las muestras no cumplió con los estándares para coliformes fecales y totales. Llegando a la conclusión que la calidad del agua analizada no era apta para consumo humano debido a incumplimientos en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos⁴⁴.

Osarenmwinda, A. (2019) evaluó agua de pozo utilizada para beber en el estado de Ekpoma-Edo de Nigeria, mediante métodos reconocidos. De las muestras, tres presentaron turbiedad que excedió los límites establecidos. Todas las muestras mostraron contaminación bacteriana, con *Escherichia coli* (60 %), *Pseudomonas aeruginosa* (50 %), *Staphylococcus aureus* (50 %), *Salmonella* (30 %), *Shigella* (40 %), *Vibrio cholerae* (30 %) y *Proteus* (50 %) presentes en cantidades significativas. Concluyendo que todas las muestras

de agua subterránea estaban contaminadas con patógenos bacterianos, representando un riesgo importante para la salud pública, particularmente en lo que respecta a infecciones gastrointestinales⁴⁵.

II.3. Bases teóricas

II.3.1. Calidad microbiológica del agua para consumo humano

La calidad microbiológica del agua para consumo humano es una variable esencial que abarca diversas dimensiones. Entre las medidas clave se encuentra la presencia de coliformes totales, la presencia de coliformes termotolerantes, como *Escherichia coli*, y la detección de *Pseudomonas aeruginosa*. Además, una alta concentración de bacterias heterotróficas puede indicar un deterioro de la calidad del agua. Para evaluar estos parámetros, se utilizan indicadores como el crecimiento de colonias rojizas o rojo metálico en el medio de cultivo agar ENDO, que permite identificar bacterias del grupo de los coliformes totales capaces de fermentar lactosa a temperaturas elevadas (44°C - 45°C), siendo *Escherichia sp.* el género predominante gracias a su capacidad para producir indol y la enzima beta-glucuronidasa. Estas pruebas también se extienden a la detección de bacilos gramnegativos aerobios con flagelo polar que producen catalasa, oxidasa y amoniaco a partir de arginina. La presencia de microorganismos, incluyendo bacterias y hongos, que proliferan en medios ricos en nutrientes sin agentes selectivos ni inhibidores, puede ser un indicativo crítico de la idoneidad del agua para consumo humano³³.

II.3.2. Calidad fisicoquímica del agua para consumo humano

La calidad fisicoquímica del agua destinada al consumo humano abarca tres dimensiones fundamentales. En primer lugar, el pH mide la acidez o alcalinidad del agua, proporcionando información valiosa sobre su composición química y su potencial impacto en la salud humana. La

turbiedad, por su parte, refleja la cantidad de partículas suspendidas en el agua, lo que influye en su claridad visual y en su apariencia general. Finalmente, la concentración de cloro residual libre constituye un parámetro crítico, ya que garantiza la desinfección efectiva del agua, eliminando microorganismos patógenos y asegurando su idoneidad para el consumo humano ³⁰.

II.4. Glosario de términos

1. Contaminantes químicos: Sustancias químicas indeseables en el agua, como metales pesados, pesticidas o productos químicos industriales.
2. Cloración: Proceso de añadir cloro al agua para desinfectarla y eliminar microorganismos patógenos.
3. 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.
4. Desinfección: Procedimientos para eliminar o inactivar microorganismos patógenos en el agua, garantizando su seguridad para el consumo humano.
5. Nitratos: Compuestos químicos nitrogenados presentes en el agua, que pueden ser perjudiciales en concentraciones elevadas.
6. Dureza del agua: Medida de la concentración de minerales como calcio y magnesio en el agua; afecta la aptitud para el consumo y el uso doméstico.
7. Sólidos suspendidos: Partículas sólidas en suspensión en el agua; pueden afectar su calidad y apariencia.

8. Potabilidad del agua: Calidad del agua apta para el consumo humano sin riesgos para la salud.
9. Límites permisibles: Valores establecidos por regulaciones para la cantidad máxima permitida de contaminantes en el agua.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

III.1. Hipótesis

Los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del agua de consumo humano proveniente del A. H. Pampas de San Antonio en el distrito de Carabayllo (octubre 2022 – mayo 2023) no cumplen con los estándares de calidad para el consumo humano.

III.2. Variables

Calidad microbiológica de agua para consumo humano

Calidad fisicoquímica de agua para consumo humano

III.3. Operacionalización de variables

VARIABLE(S)	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
Calidad microbiológica del agua para consumo humano	Cuantitativa	Conjunto de atributos microbiológicos que garantizan la inocuidad del agua para consumo humano.	Ausencia o presencia de los parámetros microbiológicos establecidos por la autoridad sanitaria	Presencia de coliformes totales	Crecimiento de colonias rojizas o rojo metálico en el medio de cultivo agar ENDO	Unidades Formadoras de colonia por 100 mL de agua (UFC/mL)	APHA 1998. ¹¹
				Presencia de coliformes termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>)	Bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44 °C - 45 °C. El más predominante es el género <i>Escherichia sp.</i> el cual se distingue por su capacidad de producir indol y por producir la enzima beta-glucuronidasa.	Unidades Formadoras de colonia por 100 mL de agua (UFC/mL)	APHA 1998. ¹¹
				Presencia de e <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bacilo gramnegativo aerobio con flagelo polar que produce catalasa, oxidasa y amoniaco a partir de arginina.	Unidades Formadoras de colonia por 100 mL de agua (UFC/mL)	ISO 16266:2006. ¹³
			Es el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la autoridad sanitaria	Concentración de bacterias heterotróficas.	Microorganismos incluidos bacterias y hongos que crecen en medios ricos en nutrientes, sin agentes selectivos ni inhibidores.	Unidades Formadoras de colonia por 100 mL de agua (UFC/mL)	APHA 1998. ¹¹

Operacionalización de variables (Continuación)

VARIABLE(S)	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
Calidad fisicoquímica del agua para consumo humano	Cuantitativa	Conjunto de atributos fisicoquímicos que garantizan la inocuidad del agua para consumo humano.	Es el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la autoridad sanitaria.	pH	Valor de pH	Sin unidades	APHA 1998. 11
				Turbiedad	Turbiedad del agua	UNT (unidades nefelométricas de Turbiedad)	
				Residual de desinfectante (Cloro residual libre)	Concentración de cloro residual libre	mg Cl/L	

Los parámetros microbiológicos, parámetros fisicoquímicos y los límites máximos permisibles son establecidos por la Autoridad de Salud según MINSA.

D.S. N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. ²⁹

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Área de estudio

El asentamiento humano “Pampas de San Antonio” del distrito de Carabayllo en Lima – Perú, constituye un grupo de familias ubicadas en la coordenada 11°51’15.4” S 76°59’47.6”W. (ver Anexo 1), del cual se recolecta las muestras de agua a partir de un recipiente o depósito donde cada vivienda almacena el agua de consumo humano.

El laboratorio de Microbiología del Instituto de Química Biológica, Microbiología y Biotecnología “Marco Antonio Garrido Malo” de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se realiza el análisis fisicoquímico y microbiológico de cada muestra recolectada.

IV.2. Diseño de investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, descriptivo y transversal.

IV.3. Población y muestra

La población son las 450 viviendas que constituyen el A. H. Pampas de San Antonio, la cual se determinó a través de información recabada de los propios habitantes y líderes comunales.

La muestra es un total de 60 ejemplares o muestras de agua para consumo humano recolectadas de forma aleatoria del grifo (punto de muestreo) de un recipiente o depósito externo de almacenamiento de agua de consumo humano (Tanque de fórmica, cilindros plásticos, galoneras de plástico, tanques de cemento y tanques estándar de polietileno) ubicado en el exterior de cada vivienda dentro en las principales avenidas dentro del A. H. Pampas de San Antonio.

IV.3.1. Muestreo

Se recorre las avenidas: Av. Micaela Bastidas, Av. Tupac Amaru, Av. Andrés Avelino Cáceres, Av. 20 de junio y Av. Jicamarca, ubicando las viviendas que cuenten con recipientes o depósitos externos de agua para

consumo humano dentro de un tramo de tres cuadras. Se descarta el muestreo en los locales con actividad comercial y/o productiva (bodegas, ferreterías, granjas y criaderos informales de animales, depósitos, entre otros.), como también se descarta el muestreo en las viviendas cuyo propietario que no dé consentimiento a la recolección.

El período de muestreo fue entre los meses de octubre 2022 y mayo 2023. Por cada vivienda seleccionada, se tomó muestra de agua de consumo en 02 frascos de vidrio, uno para análisis microbiológico y otro para análisis fisicoquímico respectivamente.

IV.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

El procedimiento de recolección de muestra inicia con la desinfección del punto de salida de agua (válvula o grifo) con alcohol al 70%. Se procede a limpiar con gasa estéril, luego abrir el grifo o válvula y dejar salir el agua por tres minutos.

Para los análisis microbiológicos el muestreo se hace por duplicado, se abre un frasco estéril conteniendo 2 mL de tiosulfato de sodio al 3%, evitando en todo momento el contacto con el interior o la boca del frasco y manteniendo el frasco inclinado a 45° para evitar introducción de partículas externas. Se llena el frasco hasta 500 mL dejando una cámara de aire.

Mientras que el procedimiento de recolección de muestra para análisis fisicoquímico se realiza en un frasco estéril de capacidad 250 mL. Se tomó por duplicado 200 mL de muestra para las pruebas fisicoquímicas.

Los análisis microbiológicos para detección y recuento de coliformes totales, *E. coli*, coliformes termotolerantes y *Pseudomonas aeruginosa* en muestras de agua se realizaron mediante recuento en placa utilizando métodos normalizados por organismos internacionales como la Organización Internacional de Estandarización "ISO" y de la Asociación Americana de Salud Pública APHA.^{46, 47}

IV.4.1. Análisis microbiológicos

IV.4.1.1. Determinación de Coliformes Totales:

Se realizó según la Parte 9222 B, procedimiento estándar de filtro de membrana para coliformes totales recomendado por la APHA⁴⁷.

Para ello se filtró 100 mL de muestra de agua en un equipo de filtración al vacío. Una vez filtrada toda la muestra se retiró la membrana filtrante, se colocó sobre el medio agar ENDO LES directamente y se incubó a 35 +/- 0.5 °C durante 22 – 24 horas. Se realizó el recuento observando con ayuda de una lupa de ser necesario. Las típicas colonias de coliformes tienen un color rojo oscuro, con un brillo metálico en la superficie. La densidad de coliformes se expresó como el total de coliformes por 100 mL y se calculó a partir de las muestras utilizando filtros de membrana que producen recuentos dentro de los límites de 20 – 80 colonias de coliformes y no más de 200 colonias.

IV.4.1.2. Determinación de Coliformes Fecales:

Según la Parte 9222 D, procedimiento de filtro de membrana para coliformes fecales recomendado por la APHA⁴⁷.

Para este método se utilizó un medio de lactosa enriquecido. Se procedió a filtrar 100 mL de muestra de agua en un equipo de filtración equipado con una bomba de vacío. Una vez terminado el filtrado, se colocó la membrana filtrante sobre el medio M-FC y se incubó a una temperatura de incubación de 44.5 +/- 0.2 °C para conseguir selectividad. Las colonias producidas por bacterias coliformes fecales en el medio M-FC presentan distintos matices de azul y se cuentan por medio de una lupa si fuera necesario. La densidad de coliformes fecales por 100 mL se calculó a partir de muestra que produjeron recuentos dentro de los límites de 20 – 60 colonias de coliformes fecales.

IV.4.1.3. Determinación de la Presencia de *Pseudomonas aeruginosa*:

Según la ISO 16266:2006(E), método de filtro de membrana para detección y enumeración de *Pseudomonas aeruginosa* según ISO⁴⁶.

Para lo cual se filtró 100 mL de muestra de agua en un equipo de filtración al vacío. Una vez filtrada toda la muestra se transfirió la membrana filtrante sobre el agar CN selectivo para *Pseudomonas*. Se incubó a 36 °C +/- 2 °C durante 44 +/- 4 horas. El recuento se obtuvo contando el número de colonias características en el filtro de membrana tras la incubación. Las colonias formadoras de piocianinas son confirmatorias para *Pseudomonas*, mientras que las colonias fluorescentes y marrón rojizo pueden requerir confirmación.

IV.4.1.4. Recuento de bacterias heterótrofas:

Se realizó según la Parte 9215 B, recuento de heterótrofos por el método de placa fluida recomendado por la APHA⁴⁷

Para ello, se procedió a la siembra por incorporación, se tomó con una pipeta 1 mL de muestra y se colocó en una placa petri estéril y luego se vertió agar Plate Count en temperatura aproximada de 45°C. Se homogenizó, se dejó solidificar y se llevó a incubar a 35 °C durante 48 horas, posteriormente se realizó el recuento de colonias.

IV.4.2. Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos: Turbiedad, pH, cloro residual y total se realizaron utilizando métodos normalizados de la Asociación americana de salud pública "APHA".

IV.4.2.1. Determinación de Turbiedad ⁴⁸: Se midió en el laboratorio mediante turbidímetro digital portátil Oakton® T-100WL, cuyo rango es de 0 a 1000 NTU. Este método se fundamenta en comparar la intensidad de la luz que se dispersa por la muestra de agua en condiciones específicas, con la intensidad de la luz que se dispersa por una suspensión estándar con la que se calibra el turbidímetro.

IV.4.2.2. Medición de pH: Es un parámetro importante debido a que la eficacia de desinfección con cloro es dependiente del pH. Se midió directamente con un potenciómetro Oakton®.

IV.4.2.3. Análisis del cloro residual ⁴⁹: Se realizó inmediatamente al llegar al laboratorio. Se determinó mediante el colorímetro digital HACH® DR 300. La determinación se basa en el uso de DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina). Se echa un sobre comercial completo en 10 mL de la muestra de agua, se agita y se lee en el colorímetro directamente en partes por millón (ppm). El reactivo reacciona con el cloro que se libera generando una coloración roja, la cual es medida.

Sin embargo, una desventaja es que no permite diferenciar el cloro libre del combinado, por lo que después de tener la primera lectura se puede agregar yoduro de potasio (IK) que libera el cloro combinado, reaccionando con el DPD, con lo que obtiene la lectura de cloro total. Se calcula la diferencia entre ambos valores, determinando el cloro residual combinado.

IV.5. Análisis estadístico

Se evaluó la distribución de los datos respecto a su normalidad tomándose en consideración un nivel de significancia al 95%. Se procedió a realizar estadística descriptiva, lo que incluye, análisis de datos que se llevaron a cabo usando SPSS y Excel de Windows. Se usó la prueba t-student para contrastación de hipótesis.

V. RESULTADOS

V.1. Presentación y análisis de los resultados

V.1.1. Revisión del tipo de envase por muestra

Como datos adicionales al estudio se anotó las características de los recipientes en los cuales se almacena el agua, se puede observar la frecuencia de uso en la Tabla N°3 y el tipo de envase por cada una de las muestras en la Tabla N°4. Las características de algunos de los recipientes se pueden apreciar en el Anexo 2.

Tabla 3. Recipientes utilizados en el almacenamiento de agua

Recipiente de almacenamiento de agua			
		Frecuencia	Porcentaje
Tipo del recipiente	Tanque de fórmica	1	1,67
	Cilindro de plástico	9	15,00
	Galonera de plástico	1	1,67
	Tanque de cemento	1	1,67
	Tanque estándar de polietileno	48	80,00
	Total	60	100,00

Tabla 4. Tipo de recipiente de almacenamiento de agua por muestra

Muestra	Envase	Muestra	Envase
C-01	Tanque de polietileno	C-31	Tanque de polietileno
C-02	Tanque de formica	C-32	Tanque de polietileno
C-03	Tanque de polietileno	C-33	Tanque de polietileno
C-04	Tanque de polietileno	C-34	Tanque de polietileno
C-05	Tanque de polietileno	C-35	Tanque de polietileno
C-06	Tanque de polietileno	C-36	Tanque de polietileno
C-07	Cilindro de plástico	C-37	Tanque de polietileno
C-08	Cilindro de plástico	C-38	Tanque de polietileno
C-09	Tanque de polietileno	C-39	Tanque de polietileno
C-10	Tanque de polietileno	C-40	Tanque de polietileno
C-11	Tanque de polietileno	C-41	Tanque de polietileno
C-12	Tanque de polietileno	C-42	Tanque de polietileno
C-13	Tanque de polietileno	C-43	Tanque de polietileno
C-14	Cilindro de plástico	C-44	Tanque de polietileno
C-15	Cilindro de plástico	C-45	Tanque de polietileno
C-16	Tanque cemento	C-46	Tanque de polietileno
C-17	Cilindro de plástico	C-47	Tanque de polietileno
C-18	Tanque de polietileno	C-48	Cilindro de plástico
C-19	Cilindro de plástico	C-49	Tanque de polietileno
C-20	Cilindro de plástico	C-50	Tanque de polietileno
C-21	Galonera de plástico	C-51	Tanque de polietileno
C-22	Tanque de polietileno	C-52	Tanque de polietileno
C-23	Cilindro de plástico	C-53	Tanque de polietileno
C-24	Tanque de polietileno	C-54	Tanque de polietileno
C-25	Tanque de polietileno	C-55	Tanque de polietileno
C-26	Tanque de polietileno	C-56	Tanque de polietileno
C-27	Tanque de polietileno	C-57	Tanque de polietileno
C-28	Tanque de polietileno	C-58	Tanque de polietileno
C-29	Tanque de polietileno	C-59	Tanque de polietileno
C-30	Tanque de polietileno	C-60	Tanque de polietileno

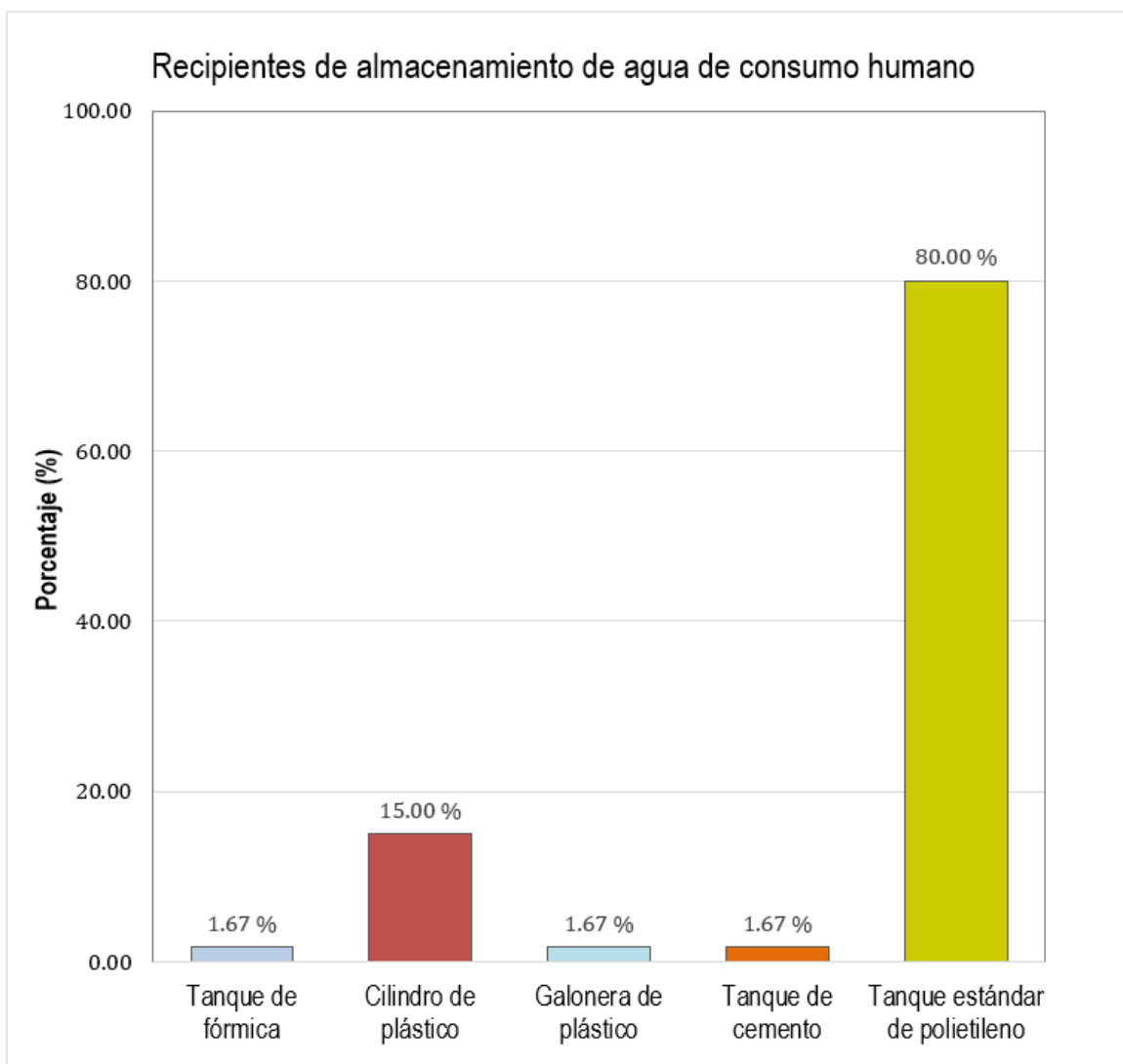


Figura 1 Recipientes utilizados en el almacenamiento de agua

En la figura 1 se muestran los recipientes en los cuales las personas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo – Lima, recolectaron el agua para consumo humano, el porcentaje mayoritario (80%) fue el uso de tanque estándar de polietileno. El 15,0 % usaba cilindro de plástico y porcentajes menores para el resto de los recipientes.

V.1.2. Resultados microbiológicos

Tabla 5. Análisis microbiológico de las muestras de agua de consumo humano recolectadas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima (octubre 2022 - mayo 2023)

Muestra	Coliformes totales (UFC / 100 mL)		Coliformes termotolerantes o fecales (UFC / 100 mL)		<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC / 100 mL)		Bacterias Heterotróficas (UFC / mL)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
C-01	33	33	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	< 1	< 1
C-02	37	38	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	< 1	< 1
C-03	27	25	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	< 1	< 1
C-04	4	5	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	< 1	< 1
C-05	35	34	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	< 1	< 1
C-06	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	25	24
C-07	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-08	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	18	19
C-09	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-10	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-11	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-12	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	2	3
C-13	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	7	6
C-14	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	20	18
C-15	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	30	28
C-16	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	15	15
C-17	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-18	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500

C-19	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	30	29
C-20	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-21	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-22	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-23	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-24	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	10	11
C-25	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-26	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-27	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	26	26
C-28	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-29	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	11	10
C-30	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	> 500	> 500
C-31	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-32	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-33	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	> 500	> 500
C-34	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-35	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	30	31
C-36	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-37	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	> 500	> 500
C-38	5	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	4	3
C-39	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-40	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	4	5
C-41	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-42	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	< 1	< 1
C-43	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	< 1	< 1

C-44	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	36	36
C-45	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	40	40
C-46	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	3	4
C-47	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	8	9
C-48	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-49	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	> 500	> 500
C-50	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	> 500	> 500
C-51	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-52	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	> 500	> 500
C-53	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-54	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-55	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-56	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	5	6
C-57	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-58	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	> 500	> 500
C-59	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	4	3
C-60	MNPC	MNPC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	22	21

MNPC (Muy numeroso para contar): El resultado de las muestras por duplicado excede de 200 colonias de coliformes totales en unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 mL

En la tabla 5, se observan los resultados de los análisis microbiológicos de coliformes totales, coliformes termotolerantes o fecales; *Pseudomonas aeruginosa* y bacterias heterotróficas para el agua de consumo humano, realizados en el A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo – Lima.

En la tabla 6 y la figura 2 se puede apreciar que solo el 1,67% de las muestras presentan ausencia de recuentos de bacterias de coliformes totales (UFC/ 100mL), por tanto, el 98,33% presentan bacterias de coliformes totales estando no conforme con el límite máximo permisible. No se encontró presencia de coliformes termotolerantes en las muestras observadas y el 16,67% de las muestras presentaron recuentos de bacteria *Pseudomonas aeruginosa*.

Tabla 6 Recuento de bacterias coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Pseudomonas aeruginosa* provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023

Coliformes totales (UFC / 100 mL)	Cantidad	%	Observación
Valores contables	6	10	Nivel de significancia: 0.05 Media: 23,33 Mediana: 36,00 Valor t = 3,7921 Desviación estándar: 15,07 Grados de libertad: 5 Mínimo: 4,5 Máximo: 37,50 Error estándar: 6,152302
Muy numerosos para contar	53	88.33	
Ausencia	1	1.67	
Coliformes termotolerantes o fecales (UFC / 100 mL)	Cantidad	%	Observación
Ausencia	60	100	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC / 100 mL)	Cantidad	%	Observación
Ausencia	50	83,33	Nivel de significancia: 0.05 Proporción de presencia: 0.1666667 Error estándar: 0.0481125
Presencia	10	16,67	

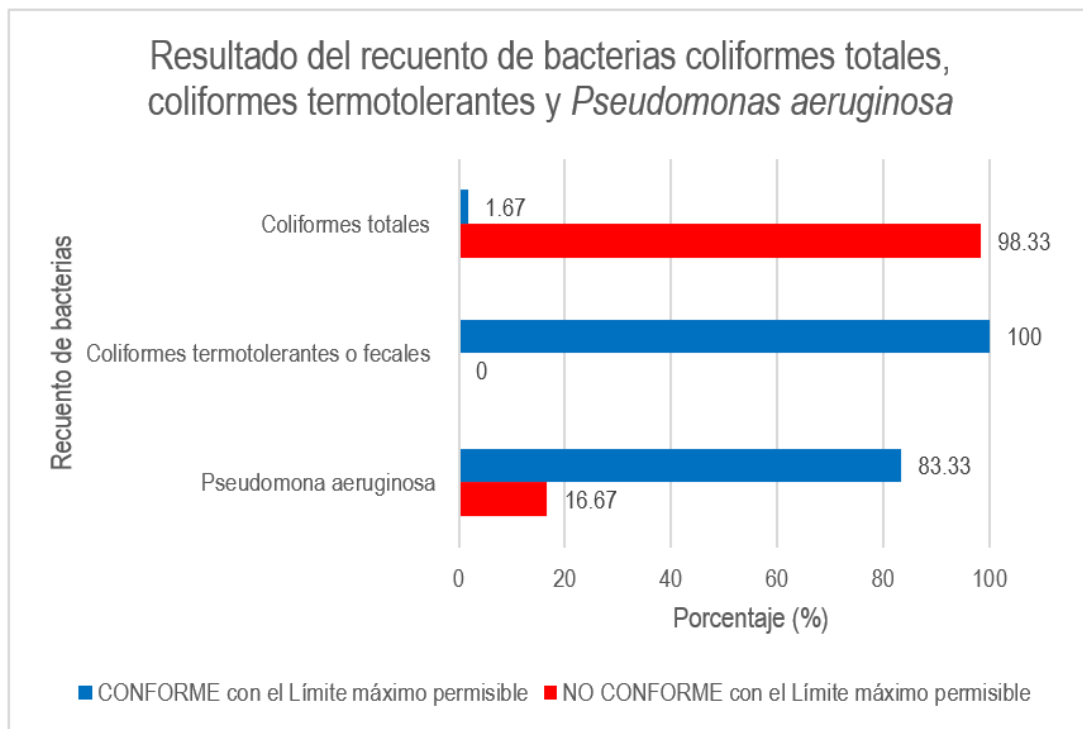


Figura 2 Resultado del recuento de bacterias coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Pseudomonas aeruginosa*.

Hipótesis estadística para el recuento de bacterias coliformes totales:

- Ho: Los recuentos de bacterias coliformes totales = 0
Los recuentos de bacterias coliformes totales provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están dentro de los límites máximo permisibles
- H1: Los recuentos de bacterias coliformes totales \neq 0
Los recuentos de bacterias coliformes totales provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están fuera de los límites máximo permisibles

Utilizando una prueba t de Student con los datos estadísticos de la tabla N°6, se rechaza la hipótesis nula, por tanto, se concluye que los recuentos de bacterias de coliformes totales están fuera del límite máximo permisible ($P < 0.05$)

Hipótesis estadística para el recuento de bacterias coliformes termotolerantes:

- Ho: Los recuentos de bacterias coliformes termotolerantes = 0
Los recuentos de bacterias coliformes termotolerantes provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están dentro de los límites máximo permisibles
- H1: Los recuentos de bacterias coliformes termotolerantes $\neq 0$
Los recuentos de bacterias coliformes termotolerantes provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están fuera de los límites máximo permisibles

El 100 % de las muestras presentaron ausencia de bacterias de coliformes termotolerantes, por tanto, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los recuentos de bacterias coliformes termotolerantes provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están dentro de los límites máximo permisibles ($P > 0.05$)

Hipótesis estadística para el recuento de bacterias *Pseudomonas aeruginosas*:

- Ho: Los recuentos de *Pseudomonas aeruginosas* = 0
Los recuentos de bacterias de *Pseudomonas aeruginosa* provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están dentro de los límites máximo permisibles
- H1: Los recuentos de *Pseudomonas aeruginosa* $\neq 0$
Los recuentos de bacterias de *Pseudomonas aeruginosa* provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están fuera de los límites máximo permisibles

El 16,67% de las muestras son no conformes con el límite permitido. La proporción de presencia de *Pseudomonas aeruginosas* es diferente de cero (nivel de significancia de 0.05). Por lo tanto podemos concluir que los recuentos de bacterias de *Pseudomonas aeruginosa* provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo están fuera de los límites máximo permisibles.

Tabla 7 Recuento de bacterias heterotróficas provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023

Bacterias Heterotróficas (UFC / mL)	Cantidad	%	Observación	
Valores contables < 500 UFC / mL	21	35	Media: 16,59 Mediana: 15,00 Desviación estándar: 11,94	Mínimo: 2,5 Máximo: 40,00
< 1 UFC / mL	7	11,67		
> 500 UFC / mL	32	53,33%		

En la tabla 7, se puede observar que el 46,67% de las muestras (28 muestras) tienen un resultado conforme con el límite máximo permisible para bacterias heterotróficas de 500 UFC / mL. Además, 21 muestras con resultados conformes tienen valores contables con un promedio de 16,59 UFC/mL y una desviación estándar de 11,94.

El 53,33% de las muestras provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023 presentan bacterias heterotróficas no conformes con el límite máximo permisible.

V.1.3. Resultados fisicoquímicos

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos analizados en cada muestra de agua, según cada método.

Tabla 8 Análisis fisicoquímico de las muestras de agua de consumo humano recolectadas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima (octubre 2022 - mayo 2023).

Muestra	Turbiedad (UNT)	pH	Cloro residual (mg/L)	Cloro total (mg/L)
C-01	0,16	7,70	0,07	0,07
C-02	0,33	7,60	0,14	0,29
C-03	0,30	7,52	0,43	0,52
C-04	0,37	7,62	0,24	0,37
C-05	0,32	7,50	0,10	0,52
C-06	0,56	7,77	0,17	0,21
C-07	0,97	7,94	0,12	0,08
C-08	1,42	8,21	0,10	0,09
C-09	0,11	7,47	0,09	0,08
C-10	0,12	7,83	0,11	0,09
C-11	0,22	7,75	0,16	0,20
C-12	0,30	8,02	0,01	0,03
C-13	0,28	7,93	0,01	0,02
C-14	0,30	7,79	0,07	0,08
C-15	0,47	7,80	0,07	0,02
C-16	0,40	7,92	0,08	0,11
C-17	0,83	7,70	0,11	0,09
C-18	0,44	7,71	0,02	0,01
C-19	1,00	7,70	0,10	0,17
C-20	3,35	7,75	0,01	0,01
C-21	0,50	10,05	0,01	0,01

C-22	0,41	7,84	0,01	0,01
C-23	0,42	8,13	0,09	0,09
C-24	0,24	7,72	0,11	0,18
C-25	0,34	7,91	0,07	0,08
C-26	0,59	7,63	0,08	0,1
C-27	0,21	7,82	0,08	0,1
C-28	0,34	7,91	0,08	0,09
C-29	1,82	7,31	0,07	0,07
C-30	1,39	7,34	0,07	0,07
C-31	1,75	7,36	0,07	0,08
C-32	6,20	7,39	0,11	0,1
C-33	1,18	7,71	0,07	0,08
C-34	4,50	7,44	0,11	0,11
C-35	1,42	7,66	0,09	0,09
C-36	1,42	7,32	0,07	0,08
C-37	1,43	7,55	0,08	0,08
C-38	0,72	7,84	0,36	0,43
C-39	1,03	7,67	0,07	0,08
C-40	0,61	7,7	0,06	0,07
C-41	0,89	7,63	0,08	0,09
C-42	0,68	7,92	0,11	0,12
C-43	1,09	7,8	0,17	0,24
C-44	1,31	7,95	0,09	0,09
C-45	1,42	7,89	0,08	0,09
C-46	1,19	7,53	0,09	0,09
C-47	0,91	8,01	0,07	0,08
C-48	0,87	7,69	0,07	0,08
C-49	0,61	7,81	0,08	0,09
C-50	0,85	7,82	0,20	0,29
C-51	0,65	7,90	0,13	0,17
C-52	0,83	7,92	0,08	0,14

C-53	0,70	7,91	0,09	0,11
C-54	0,88	7,83	0,08	0,11
C-55	0,66	7,5	0,07	0,07
C-56	0,52	8,03	0,51	0,42
C-57	0,94	7,89	0,09	0,08
C-58	0,51	7,63	0,07	0,06
C-59	0,58	7,93	0,32	0,24
C-60	0,64	7,87	0,11	0,10
Promedio	0.93	7.78	0.11	0.13

Con respecto a la turbiedad, la muestra C-32 resulta con 6.20 UNT de turbiedad lo cual es superior con el límite máximo permisible, a diferencia del resto de las muestras que sí cumplen con la especificación. En cuanto a pH, hubo una muestra que sobrepasó el límite (C-21: 10,05) y los niveles de cloro estuvieron por debajo de lo que se requiere para una desinfección eficaz

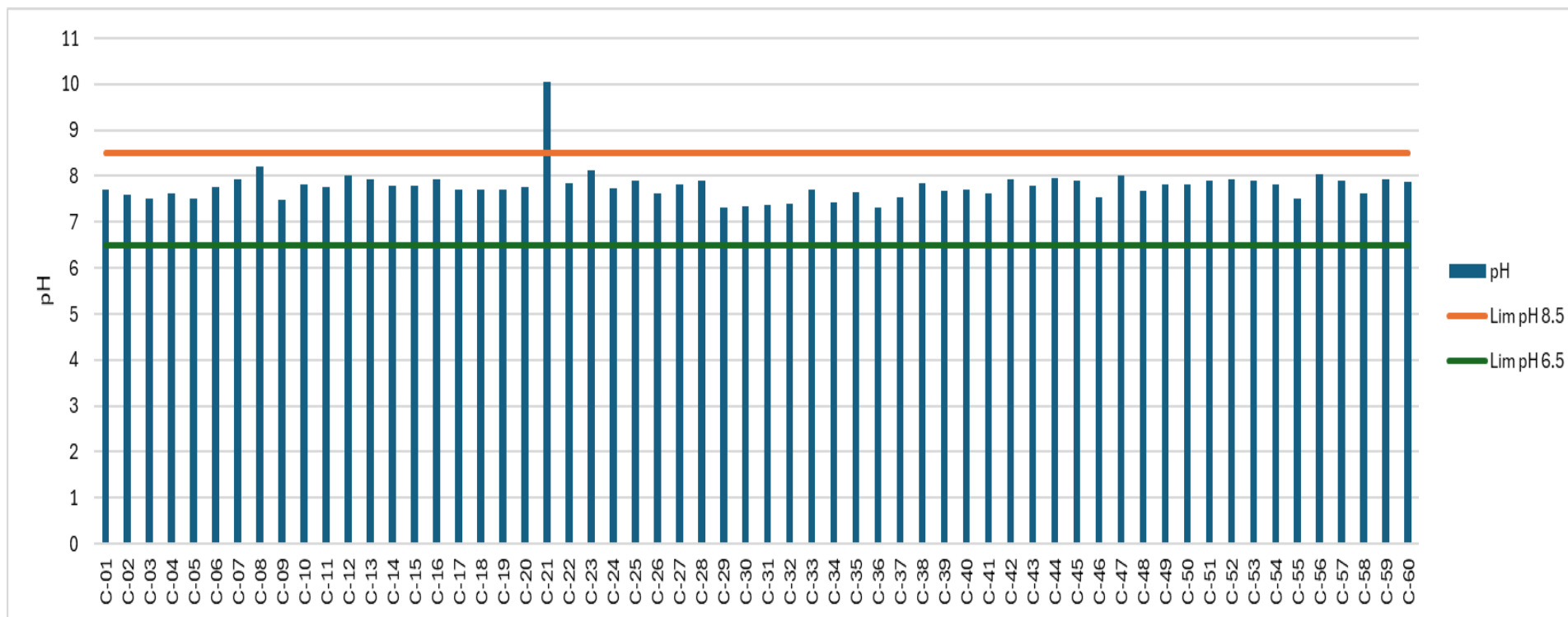


Figura 3 Resultados de pH por muestra de agua de consumo provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023

En la figura 3 se puede observar que solo la muestra C-21 supera los límites máximos permisibles de pH, a diferencia del resto de la muestra los cuales se encuentran dentro de los parámetros aceptables.

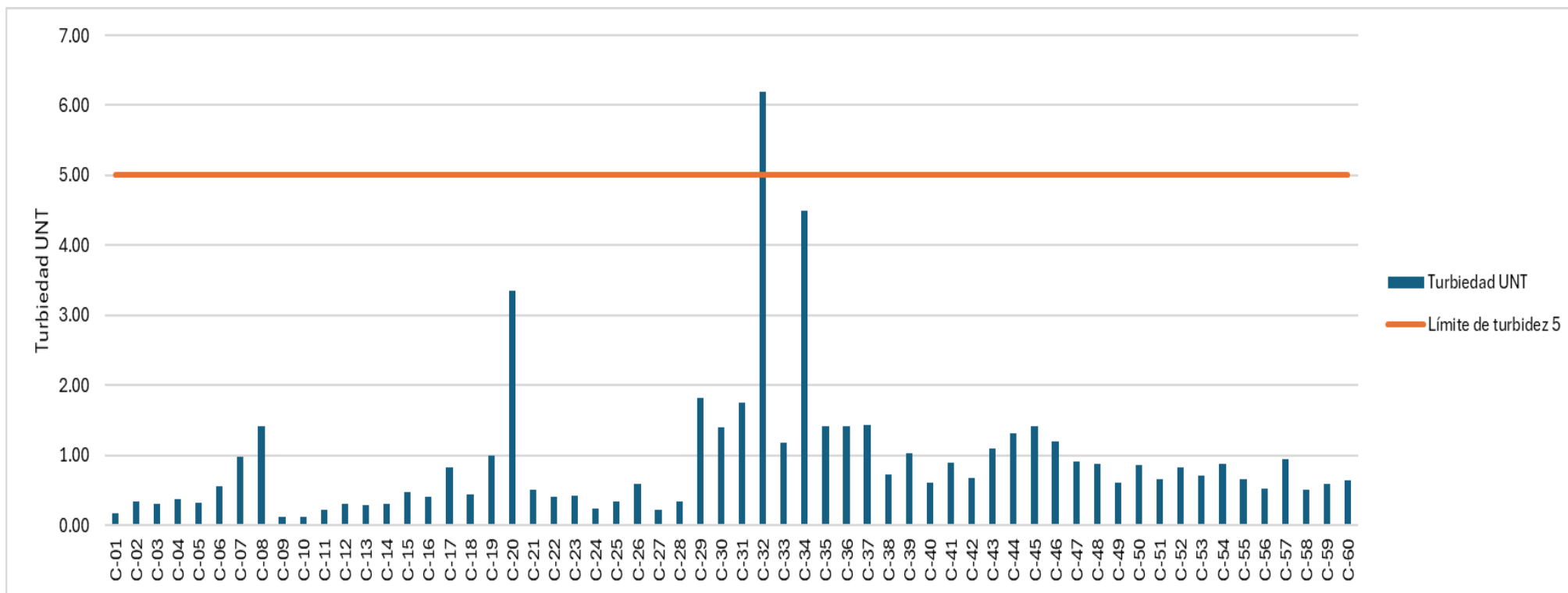


Figura 4 Resultados de turbiedad por muestra de agua de consumo provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo - Lima 2022-2023

En la figura 4 se puede observar que solo la muestra C-32 supera los límites máximos permisibles de la Turbiedad (UNT), a diferencia del resto de la muestra los cuales se encuentran dentro de los parámetros aceptables.

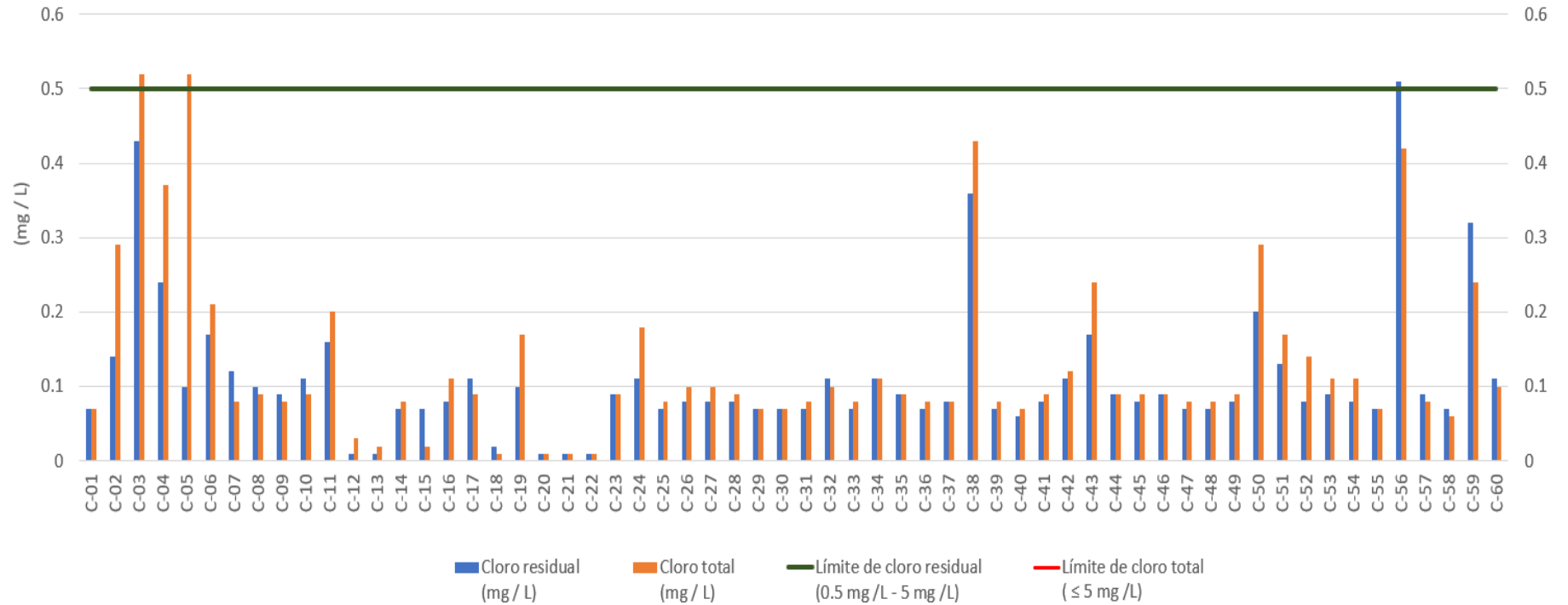


Figura 5 Resultados de cloro residual y cloro total por muestra de agua de consumo provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabaylo - Lima 2022-2023

En la figura 5 se observa que todas las muestras cumplen el parámetro de cloro total debido a que ninguna supera el límite máximo permisible ≤ 5 mg/ L. Sin embargo, para el parámetro de cloro residual se puede observar que solo la muestra C-56 cumple con el criterio de aceptación (0.5 mg / L - 5 mg / L), sobrepasando el límite inferior de cloro residual de 0,5 mg / L a diferencia del resto de muestras las cuales no alcanzan a superar el límite mínimo de cloro residual que debe estar presente en el agua de consumo humano.

Tabla 9 Resultado fisicoquímico de muestras de agua de consumo humano recolectadas del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo

Turbiedad (UNT)		Cantidad	%	Observación	
Límite máximo permisible: ≤ 5 UNT	Resultados conforme	59	98,33	Muestras: 60 Media: 0,925	Mediana: 0,655 Mínimo: 0,110
	Resultados No conforme	1	1,67	Desviación estándar: 1,001	Máximo: 6,200
pH		Cantidad	%	Observación	
Criterios de aceptación: 6,5 - 8,5	Resultados conforme	59	98,33	Muestras: 60 Media: 7,783	Mediana: 7,780 Mínimo: 7,310
	Resultados No conforme	1	1,67	Desviación estándar: 0,359	Máximo: 10,050
Cloro residual (mg / L)		Cantidad	%	Observación	
Criterios de aceptación: 0,5 - 5 mg / L	Resultados conforme	1	1,67	Muestras: 60 Media: 0,109	Mediana: 0,080 Mínimo: 0,010
	Resultados No conforme	59	98,33	Desviación estándar: 0,092	Máximo: 0,510
Cloro total (mg / L)		Cantidad	%	Observación	
Límite máximo permisible: ≤ 5 mg / L	Resultados conforme	60	100,00	Muestras: 60 Media: 0,130	Mediana: 0,090 Mínimo: 0,010
	Resultados No conforme	0	0,00	Desviación estándar: 0,116	Máximo: 0,520

En la tabla 9 se reporta que el nivel de turbiedad (UNT) provenientes del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo presentó un promedio \pm desviación estándar de 0.925 ± 1.001 ; en cuanto a PH, un valor promedio de 7.783 ± 0.359 ; cloro residual de 0.109 ± 0.092 y de cloro total un promedio de 0.130 ± 0.116 .

De los resultados se puede observar que más del 98% de las muestras tienen resultados conformes para turbiedad y pH. Además, el 100% de las muestras cumple con el límite máximo permisible para Cloro total. Sin embargo, el 98,33% no cumple con el criterio de aceptación para cloro residual, solamente 1 muestra que representa el 1,67% es conforme superando el límite inferior de cloro residual de 0,5 mg / L.

VI. DISCUSIÓN

La adecuada gestión y el cumplimiento de requisitos físicos, químicos, organolépticos y microbiológicos establecidos para el agua potable dan como resultado agua de calidad apta para consumo humano y para todo uso doméstico. La exigencia normativa como parte de políticas de salud pública busca prevenir las enfermedades transmitidas por el consumo de agua de dudosa o la mala calidad como malnutrición, las enfermedades diarreicas, la disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea, la poliomielitis, entre otros; además de impactar en la productividad y gasto sanitario de la población.

Los residentes del asentamiento humano Pampas de San Antonio no cuentan con servicio de agua y desagüe, estas personas reciben agua potable a través de cisternas autorizadas que deben cumplir con la normativa y por lo tanto con los estándares de calidad de agua de consumo humano. Sin embargo, la cantidad que reciben estas familias no es suficiente para su uso domiciliario, esto los obliga a comprar agua de fuentes informales como proveedores de agua de calidad cuestionable. Esta situación origina malas prácticas como ingesta de agua contaminada y la mezcla de agua contaminada con agua potable lo que ocasiona pérdida de la calidad.

La elección del recipiente es crucial para garantizar la seguridad y la calidad del agua para consumo humano. Si bien cada tipo de recipiente tiene sus propias ventajas y desventajas, es importante considerar factores como la durabilidad, la resistencia a la contaminación química y bacteriana, y la facilidad de limpieza. Debido a esto los residentes y las autoridades locales deben tomar medidas para garantizar que además de tener recipientes de almacenamiento de agua estén contruidos con materiales seguros y se mantengan limpios. Además, se debe proporcionar educación sobre la importancia de la desinfección del agua y las prácticas de almacenamiento adecuadas para prevenir enfermedades y proteger la salud de la comunidad.

En el presente trabajo, se evidenció que los recipientes de almacenamiento de agua más utilizados fueron los tanques de polietileno de marcas como Eternit®, Farplast® y Rotoplast®, representando 80 % de almacenamiento de las muestras tomadas. Este análisis refleja una clara preferencia por los tanques comerciales de diseño estándar para almacenamiento de agua, posiblemente por la reputación de durabilidad, resistencia a la contaminación y seguridad para el consumo humano. Estos tanques, refiere el fabricante, son a base de polietileno de alta densidad de grado alimenticio⁵⁰.

Los cilindros de plástico son usados por 15 % de las viviendas muestreadas, son de polietileno de ultra peso molecular y se recomiendan para uso industrial, para el almacenamiento de químicos, detergentes, lubricantes, etc. El material no se reporta como tóxico⁵¹ si fuera de primer uso, pero es sabido que las familias compran estos cilindros después de que han sido usados para almacenar solventes industriales, por lo que podría quedar residuos químicos y por ello no se garantizaría la inocuidad del agua que se almacena en ellos.

Las galoneras están hechas de plástico, por lo que no contienen metales en su composición principal. Sin embargo, pueden contener aditivos metálicos como estabilizadores o pigmentos, que podrían filtrarse en el agua. El principal riesgo asociado con las galoneras de plástico es la liberación de sustancias tóxicas como el bisfenol A (BPA) y ftalatos, que se utilizan en la fabricación del plástico. Estas sustancias pueden migrar al agua, especialmente cuando se exponen a altas temperaturas. Si las galoneras de plástico no se limpian adecuadamente o se almacenan en condiciones de humedad, pueden facilitar el desarrollo de mohos y bacterias, lo que afectaría la calidad del agua almacenada^{52, 53}.

Los tanques de cemento no contienen metales en su composición. Sin embargo, podrían contener refuerzos metálicos en su estructura, que podrían corroerse y contaminar el agua con metales pesados. Asimismo, durante el proceso de fabricación del tanque de cemento, pueden utilizarse aditivos químicos que podrían filtrarse en el agua y representar un riesgo para la salud. Asimismo, los

tanques de cemento porosos pueden albergar bacterias y microorganismos, especialmente si no se limpian adecuadamente. Además, el pH alcalino del agua almacenada en ellos podría inhibir el crecimiento de ciertos microorganismos, pero también afectar la calidad del agua⁵⁴.

En el análisis microbiológico de coliformes totales se obtuvo que 98,3 % de las muestras (59 de 60 muestras) tuvieron recuentos altos de coliformes totales más no hubo presencia en ninguna muestra de coliformes fecales, similar a lo obtenido por Osarenmwinda, A *et al.* (2019)⁴⁵ quienes evaluaron 10 muestras de agua de pozo en el estado de Ekpoma-Edo en Nigeria encontrando que la enumeración de coliformes se encontraba entre 24 a >1800 NMP/100 mL, por lo que ninguna muestra cumplía lo establecido por la OMS. También en Ecuador, Tibaquinza⁴⁴ evaluó agua potable de diversas fuentes, entre ellas tanques de almacenamiento de vertientes, redes de distribución domiciliaria por Número Más Probable (NMP), reportando que 74 % de las muestras analizadas no cumplían con las especificaciones para coliformes fecales y totales.

Por otro lado, Calderón y Orellana (2015)⁵⁵ estudiaron por duplicado 38 muestras tomadas en la Universidad de Cuenca y analizaron mediante membrana filtrante, encontrando seis muestras que no cumplían con la especificación de coliformes totales, aunque los coliformes fecales estuvieron conformes. En Perú, Silupu E *et al.*,⁵⁶ en el 2020 muestrearon agua en pozo, reservorio y red pública de 14 localidades en La Libertad, encontrando que no cumplían para NMP de coliformes totales y fecales: los pozos de 10 localidades, los reservorios de 7 localidades y el agua de red pública de 7 localidades, mencionando que, en las zonas rurales, el uso de agua de pozo para regadíos y uso familiar expone el almacenamiento a la contaminación microbiana. Independientemente de los métodos utilizados (NMP o membrana filtrante) los estudios revelan presencia de microorganismos indicadores de contaminación. Los resultados de coliformes pueden asociarse a factores locales como fuente de abastecimiento, prácticas de desinfección, cuidado durante el almacenamiento, condiciones ambientales y particulares de cada lugar, entre otros. La presencia de coliformes totales puede significar un riesgo para la salud, especialmente en las personas vulnerables como

embarazadas, niños y ancianos; por lo que se requiere tomar medidas necesarias para aminorar el riesgo en la población.

La presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en el 16.67 % de las muestras (10 de 60 muestras) indica una posible contaminación microbiológica, posiblemente vinculada a prácticas de saneamiento inadecuadas o fuentes industriales cercanas. Esta bacteria cuando crece formando biofilms puede sobrevivir incluso a la cloración del agua⁵⁷. Por ello, la presencia de bacterias en el agua plantea preocupaciones significativas para la salud pública, debido a que, por ser una bacteria oportunista, puede afectar especialmente a personas con sistemas inmunológicos comprometidos, por lo que es imperativo abordar estas fuentes de contaminación y mejorar las medidas de tratamiento y monitoreo del agua para salvaguardar la salud de las comunidades afectadas y garantizar el acceso a agua potable segura.

En los recuentos de bacterias heterotróficas, el 53,33% (32 de 60 muestras) tuvieron recuentos por encima de lo permitido por la autoridad de salud. Osarenmwinda, A *et al.* (2019)⁴⁵ reportaron que los recuentos de bacterias aerobias totales estuvieron entre $2,6 \times 10^2$ UFC/mL – $7,1 \times 10^5$ UFC/mL superando lo establecido por la OMS. Calderón y Orellana (2015)⁵⁵ hallaron que 10,5 %, es decir 4 muestras (incluyendo los duplicados) superaban los límites permitidos para aerobios mesófilos, mientras que Silupu *et al.*⁵⁶ hallaron que no cumplían con las especificaciones para heterótrofos: agua de pozos de 10 localidades, agua de reservorios de 13 localidades y agua de red pública de 11 localidades. La proliferación excesiva de bacterias heterotróficas puede estar relacionada con condiciones ambientales propicias para su desarrollo, como temperaturas elevadas o la presencia de nutrientes orgánicos en el agua. Además, la falta de tratamiento adecuado del agua o posibles contaminaciones en la fuente de suministro pueden contribuir a la elevada carga bacteriana, por lo que una evaluación detallada de las condiciones locales y de las prácticas de gestión del agua es crucial para identificar las fuentes específicas de contaminación y aplicar medidas correctivas destinadas a mejorar la calidad del agua en el contexto de consumo humano. También, es importante deslindar el nombre del análisis de los

recuentos (bacterias aerobias totales, aerobios mesófilos), debido a que son las bacterias heterotróficas las que brindan información sobre el proceso de tratamiento de agua, es decir la desinfección; por lo que si se encuentran en valores altos se podría entender como una re-contaminación.

Respecto al análisis fisicoquímico, la turbiedad promedio de 0.925 UNT y el intervalo de confianza del 95% están significativamente por debajo del límite máximo permitido de 5 UNT. El 98,33% de las muestras cumple con lo especificado. Sólo una muestra (C-32 = 1.67%) superó los límites máximos permisibles con un valor de 6,2 UNT. En un estudio en Argentina, de Amarilla JA et al en el 2018⁵⁸ en 14 muestras de agua de pozos, 12 muestras tuvieron la turbiedad dentro del valor permitido (≤ 5 UNT) y dos no cumplieron; también, Florez en el 2021⁵⁸ analizó muestras de agua en una planta de tratamiento de agua potable y los diferentes puntos de una red de distribución en Colombia, todas las muestras dieron conforme para este parámetro dando aceptabilidad de las mismas. Determinar la turbiedad es muy importante en agua potable pues permite evidenciar el grado de tratamiento que se requiere, es decir la potabilidad del agua. Exceder el límite máximo permisible en una muestra, podría deberse a fuentes puntuales de contaminación o eventos climáticos que afectan la calidad del agua en esa ocasión específica.

Respecto al pH, en el presente estudio el 98,33% de las muestras analizadas cumplen con los límites máximos permisibles de pH (6,5 a 8,5) sólo una muestra (C-21 = 1,67 %) superó el límite de pH con un valor de 10,05; lo que podría indicar la presencia de sustancias alcalinas o la influencia de procesos químicos locales. Amarilla JA et al ⁵⁸ al igual que Florez (2021) ⁵⁹ hallaron todas las muestras con pH dentro del rango permitido. Si bien es cierto, que la OMS menciona que el pH no afecta directamente a los consumidores, es obligatoria su determinación; para que la desinfección con cloro sea eficaz, pues es más efectivo a pH menor de 8; aunque se recomienda un pH no muy ácido porque puede ser corrosivo.

En cuanto al cloro residual, la mayoría de los resultados (98,33%) está por debajo de la especificación de 0.5 mg/L a 5 mg/L, solo una muestra (C-56 = 1,67 %) es

conforme con un valor de 0,51 mg/L cercano al límite inferior. En lo concerniente al Cloro total se obtuvo un promedio de 0.1303 mg/L y el 100% no supera el valor máximo permisible de 5 mg /L. En el estudio de Florez ⁵⁹, todas las muestras cumplieron con el parámetro cloro residual libre, aunque hubo fluctuaciones a lo largo del período de muestreo. El objetivo de clorar es desinfectar, pero además el cloro es oxidante y puede contribuir a eliminar sustancias químicas. En el presente trabajo, la concentración de cloro residual cerca al límite mínimo y la obtención de una media de Cloro residual de 0.11 mg/L y cloro total de 0.13 mg/L sugiere una posible insuficiencia en el proceso de desinfección, problemas en el sistema de dosificación, inadecuado almacenamiento y manejo del agua de consumo. Por lo que una evaluación exhaustiva de las condiciones locales, las prácticas de higiene y del sistema de tratamiento de agua es esencial para identificar y corregir los factores que contribuyen a estas variaciones en el análisis fisicoquímico del agua.

VII. CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis microbiológicos y fisicoquímicos del agua de consumo humano del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo, determinándose que no cumple con los criterios microbiológicos y fisicoquímicos según la normativa peruana.
- Se determinó el recuento de bacterias coliformes totales, el 98,3% de las muestras no cumplen con los límites máximos permisibles, solo la muestra C-43 se encuentra dentro de lo especificado. Así mismo, se determinó que el 100% cumple con el límite máximo permisible para los coliformes termotolerantes y respecto a *Pseudomonas aeruginosa* se observó que el 16,67% de muestras confirman la presencia de esta especie.
- Se realizó el recuento de bacterias heterotróficas, evidenciándose que el 53,33% de las muestras superaron el límite máximo permisible.
- Se determinó el nivel de turbiedad, pH, cloro total y cloro residual, hallándose que el 98,33% cumple con la especificación para turbiedad, solo la muestra C-32 no cumple con el límite permisible. El 98,33% de las muestras se encuentra dentro del rango de pH, solo la muestra C-21 resultó no conforme. El 100% de las muestras cumplieron la especificación para Cloro total, sin embargo, el 98,33% de las muestras no cumple con la especificación de cloro residual que exige la normativa peruana.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios sobre la calidad del agua de consumo humano en otros asentamientos humanos del distrito de Carabayllo, para determinar si los resultados microbiológicos y fisicoquímicos se replican a los obtenidos en el asentamiento humano Pampas de San Antonio; a fin de tomar acciones correctivas a nivel de salud y gestión pública.
- Desarrollar campañas educativas y de concientización dirigidas a la comunidad, destacando prácticas seguras de agua y saneamiento, con énfasis en la prevención de la contaminación y el fomento de hábitos higiénicos.
- Se sugiere llevar a cabo un análisis exhaustivo de las posibles fuentes de contaminación que contribuyen a la elevada presencia de Coliformes totales y *Pseudomonas aeruginosa*, con el objetivo de identificar puntos críticos y diseñar estrategias específicas de control y prevención.
- Proponer medidas de gestión y tratamiento microbiológico que aborden de manera efectiva la presencia de Coliformes totales y *Pseudomonas aeruginosa*, incorporando técnicas avanzadas de desinfección y monitoreo en tiempo real.
- Implementar sistemas de tratamiento avanzados, como la filtración y desinfección por ultravioleta, para reducir la concentración de bacterias heterotróficas y mejorar la calidad microbiológica del agua de consumo.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización de las Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 6. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
2. Organización de las Naciones Unidas. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Por un plan de rescate para las personas y el planeta. Disponible en: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
3. Organización Mundial de la Salud. Guías para el Saneamiento y la Salud. 2019. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/330097/9789243514703-spa.pdf>
4. Organización Mundial de la Salud. Burden of disease attributable to unsafe drinking-water, sanitation and hygiene: 2019 update. 2019. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240075610>
5. Organización Mundial de la Salud. Saneamiento. 2024. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
6. Organización Panamericana de la Salud. Agua y Saneamiento. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
7. Organización Panamericana de la Salud. Día Interamericano del Saneamiento: el 50,8 % de América Latina y el Caribe no tiene un saneamiento gestionado de manera segura a siete años del cumplimiento de los ODS. Disponible en: <https://www.paho.org/es/noticias/16-11-2023-dia-interamericano-saneamiento-508-america-latina-caribe-no-tiene-saneamiento>
8. Zapata T. Análisis de la Situación de Salud del Distrito de Carabayllo [Internet]. Lima: Dirección de Redes Integradas de Salud Lima Norte; 2019 [citado el 04 de abril del 2023]. Disponible en: https://www.dge.gob.pe/portal/docs/asis-lima-2019/CD_MINSA/DOCUMENTOS_ASIS/ASIS_DISTRITO%20CARABAYLLO%202019.pdf

9. Musie W, Gonfa G. Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. Heliyon [Internet]. 2023 [citado el 29 de Julio del 2023] 9 (8): Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023058930>
10. Instituto nacional de calidad. Dirección de Normalización. Norma técnica peruana NTP 214.040:2012 (revisada el 2022) Calidad de agua. vocabulario. 1ra edición Lima: Instituto nacional de calidad [Internet]. Lima. Instituto nacional de calidad. Dirección de Normalización. 2018 [consultado el 11 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
11. Westall F, Brack A. The Importance of Water for Life. Space Sci Rev [Internet]. 2018;214(2):1–23. Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11214-018-0476-7>
12. Craun G. Waterborne diseases in the United States [Internet]. Prensa CRC BR, editor. Waterborne Diseases in the United States. Estados Unidos; 2018. 1–295 p. Disponible en <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6416782>
13. Hand S, Cusick R. Electrochemical Disinfection in Water and Wastewater Treatment: Identifying Impacts of Water Quality and Operating Conditions on Performance. Environ Sci Technol [Internet]. 2021;55(6):3470–82. Disponible en:
<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.0c06254>
14. Organización de las Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. Agua y desarrollo sostenible. 2014. Disponible en:
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml

15. Organización Panamericana de la Salud. Situación del marco para la seguridad del agua de consumo humano en América Latina y el Caribe. 2021. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55388>
16. Organización de las Naciones Unidas. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. Desafíos Globales: Agua. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/water>
17. Van Vliet M, Jones E, Florke M, Franssen W, et al. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. Environmental Research Letters [Internet]. 2021 [citado el 29 de enero del 2023] 16 (2): Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348793068_Global_water_scarcity_including_surface_water_quality_and_expansions_of_clean_water_technologies/link/6229e415a39db062db8f1bbd/download
18. Salehi M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. Environment International [Internet]. 2022 [citado el 29 de enero del 2023] 158 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021005614>
19. Hernández A, Rojas C, Marques D, Santero M, Bendezu G, Barrientos T, et al. Inequalities in access to safe drinking water in Peruvian households according to city size: an analysis from 2008 to 2018. International Journal for Equity in Health [Internet]. 2021 [citado el 29 de enero del 2023];20(1): p 1 - 10. Disponible en: <https://equityhealthj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12939-021-01466-7#:~:text=The%20prevalence%20of%20access%20to,points%2C%20p%20%3C%200.001>)
20. Instituto nacional de estadística e informática. Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico. [Internet] Lima: Instituto nacional de estadística e informática. 2020 [citado el 29 de enero del 2023] https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
21. Villena J. Calidad del agua y desarrollo sostenible. Rev. Perú. Med. Exp. Salud Pública [Internet]. 2018 Abr [citado 2024 Feb 21];35(2):304-308. Disponible en: <https://rpmpesp.ins.gob.pe/index.php/rpmpesp/article/view/3719>

22. Malika NM, Barbagelatta G, Penny M, Reynolds KA, Sinclair R. Impact of Housing and Infrastructure on handwashing in Peru. *Int Health* [Internet]. 2021 Dec 1 [cited 2023 Jan 29];13(6):615–23. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32239138/>
23. Hernández A, Visconti F, Vargas R. *Escherichia coli* Contamination of Water for Human Consumption and Its Associated Factors in Peru: A Cross-Sectional Study. *Am J Trop Med Hyg* [Internet]. 2022 [citado el 29 de Enero del 2023];108(1):187–94. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36509044/>
24. Salem J, Amonkar Y, Maennling N, Lall U, Bonnafous L, Thakkar K. An analysis of Peru: Is water driving mining conflicts? *Resour Policy* [Internet]. 2021;74(1):1–8. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420718301193>
25. Cabezas C. Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* [Internet]. 2018;35(2):309–16. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rpmesp/2018.v35n2/309-316/es/>
26. Guevara A, Obando W, Segura F. La gestión de la calidad del agua en el Perú. *Sextas Jornadas de Derecho de Aguas* [Internet]. PUCP. Perú; 2019. 1–325 p. Disponible en: <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/166034>
27. MINSA. R.M. N° 908-2014/MINSA. “Directiva Sanitaria para la Formulación, Aprobación y Aplicación del Plan de Control de Calidad (PCC) por los Proveedores de Agua para Consumo Humano”. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/199057-908-2014-minsa>
28. MINSA. R.M. N° 907-2016/MINSA “Definiciones operacionales y criterios de programación y de medición de avances de los programas presupuestales”. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/191538-907-2016-minsa>

29. MINSA. D.S. N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 2010. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
30. Wen X, Chen F, Lin Y, Zhu H, Yuan F, Kuang D, et al. Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality—A Review. *Sustain* [Internet]. 2020;12(6):1–14. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2249>
31. Jain P, Bhandari V, Balapure K, Jena J, Ranade V, Killedar D. Hydrodynamic cavitation using vortex diode: An efficient approach for elimination of pathogenic bacteria from water. *J Environ Manage* [Internet]. 2019;242(1):210–9. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719305249>
32. Crone S, Vives M, Kvich L, Saunders A, Malone M, Nicolaisen M, et al. The environmental occurrence of *Pseudomonas aeruginosa*. *Apmis* [Internet]. 2020;128(3):220–31. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/apm.13010>
33. Pineda E, García M, Guaya D, Manrique J, Osorio F. Elimination of total coliforms and *Escherichia coli* from water by means of filtration with natural clays and silica sand in developing countries. *Environ Geochem Health* [Internet]. 2021;43(1):195–207. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-020-00623-1>
34. Odonkor S, Mahami T. *Escherichia coli* as a Tool for Disease Risk Assessment of Drinking Water Sources. *Int J Microbiol* [Internet]. 2020;2(1):1–7. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/ijmicro/2020/2534130/>
35. Choque D, Froehner S, Ligarda C, Ramos B, Peralta D, Palomino H, et al. Insights from Water Quality of High Andean Springs for Human Consumption in Peru. *Water (Switzerland)* [Internet]. 2021;13(19):1–16. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2650>

36. Wells M, Dorrell R. Turbulence Processes within Turbidity Currents. *Annu Rev Fluid Mech* [Internet]. 2021;53(1):59–83. Disponible en <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-fluid-010719-060309>
37. Zheng T, Shang C, He Z, Wang X, Cao C, Li H, et al. Intercalated Iridium Diselenide Electrocatalysts for Efficient pH-Universal Water Splitting. *Angew Chemie* [Internet]. 2019;131(41):14906–11. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ange.201909369>
38. Sheikhi R, Mahvi A, Baghani A, Hadi M, Sorooshian A, Delikhoon M, et al. Reducing free residual chlorine using four simple physical methods in drinking water: effect of different parameters, monitoring microbial regrowth of culturable heterotrophic bacteria, and kinetic and thermodynamic studies. *Toxin Rev* [Internet]. 2021;40(4):1407–20. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15569543.2020.1726959>
39. Gonzales W, Acharte L, Poma J, Sánchez V, Quispe F, Mesequer P. Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Rev Investig Altoandinas* [Internet]. 2023;25(1):23–31. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572023000100023&script=sci_arttext
40. Brousett M, Chambi A, Mollocondo M, Aguilar L, Lujano E. Evaluación físico-química y microbiológica de agua para consumo humano Puno-Perú. *Fides Ratio - Rev Difusión Cult y científica la Univ La Salle en Bolív* [Internet]. 2018;15(15):47–68. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2018000100005&script=sci_arttext
41. Ruiz E. Análisis fisicoquímico y microbiológico de la calidad del agua para consumo humano del Centro Poblado de Buena Vista, Distrito De Pozuzo, Provincia De Oxapampa - Perú, 2021. [Internet]. [Tesis de grado] Universidad

Nacional Daniel Alcides Carrión; 2022. Disponible en <http://45.177.23.200/handle/undac/2606>

42. Elías J, Avalos C, Medrano J. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano y enfermedad diarreica aguda en el distrito de Rázuri, provincia de Ascope La Libertad – Perú. PURIQ [Internet]. 2020;2(1):1–13. Disponible en <https://repositorio.unca.edu.pe/handle/20.500.14003/21>
43. Barakat A, Meddah R, Afdali M, Touhami F. Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). Phys Chem Earth [Internet]. 2018;104(1):39–46. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706517300153>
44. Tibanquiza S. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano de la Junta Administradora de Agua Potable san José de Puñachizag, cantón Quero, provincia Tungurahua [Internet]. [Tesis de grado] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8812>
45. Osarenmwinda A. Bacteriological and physicochemical analyses of well water used for drinking in Ekpoma-Edo State, Nigeria. J Microbiol Exp [Internet]. 2019;7(6):280–4. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Osarenmwinda-Osatohanmwinda/publication/350434216_Bacteriological_and_physicochemical_analyses_of_well_water_used_for_drinking_in_Ekpoma-Edo_State_Nigeria/links/62a87398c660ab61f87c690d/Bacteriological-and-physicochemica
46. ISO 16266:2006 (E) Método de filtro de membrana para detección y enumeración de *Pseudomonas aeruginosa* de la Organización Internacional de Normalización.
47. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24th ed. Washington DC: APHA Press; 2023.

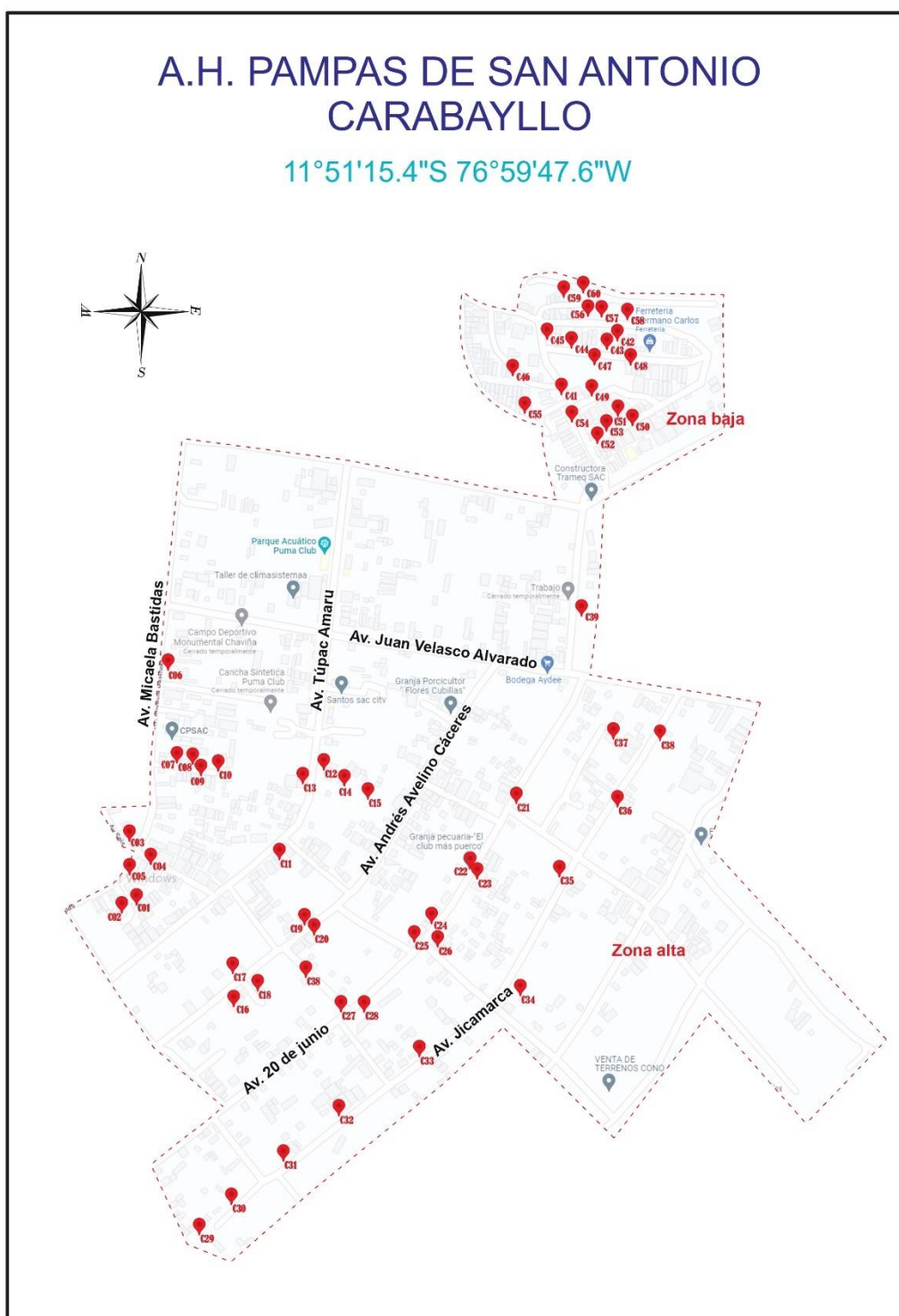
48. EPA. Method 180.1. Determination of Turbidity by Nephelometry 1993. Ohio. [Citado 14 de febrero 2024] Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_180-1_1993.pdf
49. EPA-NERL: 330.5. Método para la determinación de Cloro Total y Cloro Residual mediante espectrofotómetro. [Citado marzo 2024] Disponible en: https://www.nemi.gov/methods/method_summary/5237/
50. Rotoplas [Internet]. Catálogo de Almacenamiento especializado [Citado marzo 2024] Disponible en: https://rotoplas.com.mx/agroindustria/rtp_resources/library/ROTAImEsp_Mx_CatAgro_20180927.pdf
51. Universidad EIA [Internet]. Antioquia: Universidad EIA; Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular - f [Citado marzo 2024]. Disponible en: <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/5503927b-32c1-4efb-93a7-7c9eb90c3dcb/content>
52. Cayo S. Análisis de la regulación nacional e internacional de Bisfenol A en plásticos de uso alimentario y su implicancia en la salud pública peruana [Trabajo académico de segunda especialidad]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Unidad de Posgrado; Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17415/Cayo_ms.pdf?sequence=1&isAllowed=y
53. Vasquez M. et al. Presencia de ftalatos en agua embotellada comercializada en la ciudad de México y su migración durante el almacenamiento a diferentes temperaturas. Tecnol. cienc. agua [Internet]. 2017, vol.8, n.5 [Citado marzo 2024], pp.91-103. Disponible en:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000500091

54. Rotoplas [Internet]. Desventajas del tanque de agua de cemento [Citado marzo 2024] Disponible en: <https://rotoplas.com.mx/desventajas-del-tanque-de-agua-de-cemento/>
55. Calderón C, Orellana V. Control de Calidad del agua potable que se distribuye en los campus: Central, Hospitalidad, Balzay, Paraíso, Yanuncay y las Granjas de Iruquis y Romeral pertenecientes a la Universidad de Cuenca. referenciar: chrome-<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22285/1/Tesis.pdf>
56. Silupu J, Avalos C, Medrano J. Calidad Bacteriológica del agua para consumo humano y enfermedad diarreica aguda en distrito de Rázuri, Provincia de Ascope La Libertad – Perú. Puriq. 2020; 20 (1): 3- 15. Disponible en <https://www.revistas.unah.edu.pe/index.php/puriq/article/view/69>
57. Bédard E, Prévost M, Déziel E. Pseudomonas aeruginosa in premise plumbing of large buildings. Microbiologyopen. 2016 Dec;5(6). Epub 2016 Jun 28.. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27353357/>
58. Amarilla JA, Manera A, Meza F, Portillo L, Quiñoñez R, Silva C, et al. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de consumo en la zona aledaña al cementerio de Minga Guazú Paraguay, 2018. En: Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM; Argentina: Universidad Nacional de Cuyo; 2018 Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12867/24-aguas-amarilla-ariel-une.pdf
59. Florez. Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua potable de los diferentes puntos de la red de distribución de la planta de tratamiento de agua del Municipio de Arauca. Tesis. 2021. Universidad de Pamplona. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/3620/1/FI%C3%B3rez_2021_TG.pdf

X. ANEXOS

Anexo 1 "Mapa del A.H. Pampas de San Antonio, Carabayllo"



Anexo 2 “Tipos de recipientes utilizados para almacenamiento de agua en el A.H. Pampas de San Antonio”

Tanque de formica



Cilindro de plástico



Anexo 2 (continuación) Tipos de recipientes utilizados para almacenamiento de agua en el A.H. Pampas de San Antonio”

Galonera de plástico



Tanque cemento



Anexo 2 (continuación) Tipos de recipientes utilizados para almacenamiento de agua en el A.H. Pampas de San Antonio”

**Tanque estándar de Polietileno
marca ETERNIT®, FARPLAST® y ROTOPLAST®,**

