

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA



TESIS

COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS 4 JUNTAS ADMINISTRADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO QUE SUMINISTRAN AL CENTRO POBLADO DE SANTO TOMÁS-CHUMBIVILCAS

PRESENTADO POR:

Br. ROY ZELAYA MENDOZA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE QUÍMICO**

ASESORES:

Dr. DINO LUCIO QUISPE GUZMÁN

Dra. NORMA TISOC LATORRE

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor DY. DINO LUCIO QUISPE GUZMAN Y Dra. NORMA TISOC LATORRE quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS 4 JUNTAS ADMINISTRADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO QUE SUMINISTRAN AL CENTRO POBLADO DE SANTO TOMÁS - CHUMBIVILCAS

Presentado por: ROY ZELAYA MENDOZA DNI N° 76937212;

presentado por: DNI N°:

Para optar el título Profesional/Grado Académico de QUÍMICO


Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7.....%.

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

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de DICIEMBRE de 2025


Firma

Post firma DINO LUCIO QUISPE GUZMAN

Nro. de DNI 23947454

ORCID del Asesor 0000-0003-2295-1141



NORMA TISOC LATORRE
DNI: 23918688

0000-0001-8400-0961

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:541190787

Roy Zelaya Mendoza

TESIS_ROY_ZELAYA_MENDOZA..docx

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:541190787

Fecha de entrega

16 dic 2025, 9:27 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 dic 2025, 9:56 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_ROY_ZELAYA_MENDOZA..docx

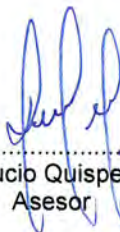
Tamaño del archivo

20.0 MB

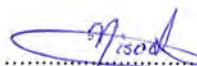
151 páginas

28.217 palabras

151.877 caracteres



Dr. Dino Lucio Quispe Guzman
Asesor



Dra. Norma Tisoc Latorre
Asesora

7% Similitud general

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




Filtrado desde el informe

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

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

.....
Dr. Dino Lucio Quispe Guzman
Asesor

.....
Dra. Norma Tisoc Latorre
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre Florentina A. Mendoza V.

A mi padre Santiago Zelaya C.

¡Por todo el apoyo incondicional...!

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a mis padres por la confianza y el apoyo brindado durante este largo tiempo. A mi madre Florentina A. Mendoza por ser el pilar de mis sueños, a mi padre Santiago Zelaya por ser la base del discernimiento. A mis hermanas Paloma Sambacelia y las hijas del Illapa Soranaywas (Milagros y Sheyla) que son la mitad de todo lo que he logrado.

A mis directores Dra. Norma Tisoc Latorre y al Dr. Dino L. Quispe Guzmán, por confiar en mí, por su tiempo brindado, por los comentarios, por los consejos, por corregir mis errores y sobre todo por ser los guías de mi camino. He sido increíblemente afortunado por contar con cada uno de ellos, espero algún día llegue a ser un buen mentor para mis alumnos como lo han sido la Dra. Norma y el Dr. Dino para mí.

De igual forma, quiero agradecer al Laboratorio Institucional en Análisis Geoquímico Ambiental (AGA) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por darme las facilidades y las herramientas necesarias para poder realizar mi tesis. También, quiero agradecer a mis compañeros del grupo de investigación AGA, por revisar, leer y comentar innumerablemente en mis supuestas tesis. Además, por sus sugerencias, paciencia y los malos ratos que me aguantaron, a Saida, Nely, Gabriel, Belisario, Laureano, Katerin y Yuri.

Finalmente, en la tierra brava de los Qorilazos, me gustaría agradecer a Alex Condori, Milton Cabrera, Yoner Venero y en especial a mi tío misticha (Concepción Zelaya) que en los momentos inesperados siempre han estado apoyándome cuando los he necesitado, pese a la distancia.

RESUMEN

La calidad y suministro del agua potable es un tema de creciente preocupación a nivel mundial, con millones de personas enfrentando la realidad de que el agua que consumen podría no cumplir con los estándares básicos de seguridad. Garantizar el acceso a agua potable se ha convertido en un desafío crítico, ya que factores como el cambio climático, la contaminación y el aumento de la población afectan la disponibilidad y la calidad del agua potable. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua para consumo humano de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) de Q'ello Q'ello, Pfullpuri, Q'enko y Soñaque, distrito Santo Tomás-Chumbivilcas. Se recolectaron 43 muestras y se determinaron parámetros fisicoquímicos y metales. Los resultados se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de consumo humano. Las concentraciones de metales se encontraron dentro de los valores permitidos. Sin embargo, en la JASS Pfullpuri, el pH fue bajo en V2 (6.43), se registró turbidez elevada en V1 (13.20 UNT) y ausencia de cloro libre. En la JASS Q'ello Q'ello, la turbidez superó el límite en CRP (6 UNT) y C1V3 (7 UNT) y cloro libre menor a 0.5 mg/L en varios puntos. En la JASS Q'enko, el PH no cumple en C2 (6.48), además valores de cloro libre menores al límite en la mayoría de los puntos. Sin embargo, la JASS Soñaque sí cumple con los parámetros fisicoquímicos evaluados, garantizando agua segura y confiable para consumo humano.

PALABRAS CLAVE: Calidad del agua, Espectrometría, LMP, ECA

ABSTRACT

The quality and supply of drinking water is a growing concern worldwide, with millions of people facing the reality that the water they consume may not meet basic safety standards. Ensuring access to safe drinking water has become a critical challenge, as factors such as climate change, pollution and population growth affect the availability and quality of drinking water. The objective of this study was to evaluate the quality of water for human consumption from the Sanitation Service Management Boards (JASS) of Q'ello Q'ello, Pfullpuri, Q'enko and Soñaqqe, in the district of Santo Tomás-Chumbivilcas. Forty-three samples were collected and physicochemical parameters and metals were determined. The results were compared with the Maximum Permissible Limits (MPL) and Environmental Quality Standards (ECA) for drinking water. Metal concentrations were found to be within the permitted values. However, at the Pfullpuri JASS, the pH was low in V2 (6.43), high turbidity was recorded in V1 (13.20 UNT) and there was an absence of free chlorine. At JASS Q'enko, the PH does not comply with C2 (6.48), and free chlorine values are below the limit at most points. However, JASS Soñaqqe does comply with the physicochemical parameters evaluated, guaranteeing safe and reliable water for human consumption.

KEYWORDS: Water quality, Spectrometry, LMP, ECA

ÍNDICE

RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	7
OBJETIVOS	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO I	10
1. MARCO TEÓRICO	10
1.1. Antecedentes de Estudio	10
1.1.1. Antecedentes Internacionales	10
1.1.2. Antecedentes Nacionales	12
1.1.3. Antecedentes Locales	14
1.2. Bases Teóricas	15
1.2.1. Agua	15
1.2.2. Tipos de Agua para Consumo Humano	15
1.2.3. Marco Normativo	16
1.2.4. Calidad del Agua	20
1.2.5. Tipos de Muestra de Agua	20

1.2.6.	Cadena de Custodia.....	20
1.2.7.	Sistema de Agua Potable en el Ámbito Rural	21
1.2.8.	Parámetros de la Calidad del Agua	22
1.2.9.	Material de Referencia Certificado (MRC)	38
HIPÓTESIS.....		39
Hipótesis General.....		39
CAPÍTULO II		40
2.	METODOLOGÍA	40
2.1.	Tipo de Investigación.....	40
2.2.	Variables.....	40
2.2.1.	Variable Independiente.....	40
2.2.2.	Variables Dependientes	40
2.3.	Materiales.....	40
2.4.	Reactivos.....	41
2.5.	Equipos	43
2.6.	Localización.....	44
2.6.1.	JASS Pfullpuri	45
2.6.2.	JASS Q'enko.....	47
2.6.3.	JASS Q'ello Q'ello	49
2.6.4.	JASS Soñaque	52
2.7.	Preparación de Materiales y Reactivos.....	55
2.8.	Muestreo	55
2.9.	Medición de Temperatura, pH y ORP.....	57
2.10.	Medición de Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales	58
2.11.	Medición de Turbidez.....	58
2.12.	Medición de Cloro Libre y Cloro Total	58
2.13.	Determinación de Sulfato	60

2.14.	Determinación de Hierro Total y Hierro Ferroso.....	60
2.15.	Medición de Oxígeno Disuelto.....	61
2.16.	Determinación de Cloruros, Dureza Total, Alcalinidad y Acidez.....	62
2.16.1.	Preparación de Muestra.....	62
2.16.2.	Cloruros.....	62
2.16.3.	Dureza Total.....	63
2.16.4.	Alcalinidad.....	64
2.16.5.	Acidez	66
2.17.	Análisis Elemental.....	67
CAPÍTULO III.....		72
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
3.1.	Resultados de pH.....	72
3.2.	Resultados de Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales.....	75
3.1.	Resultados de Oxígeno Disuelto.....	80
3.1.	Resultados de Turbidez.....	82
3.1.	Resultados de ORP	85
3.1.	Resultados de Cloro Total y Cloro Libre Residual	88
3.1.	Resultados de Hierro Total y Hierro Ferroso.....	90
3.1.	Resultados de Dureza y Alcalinidad	92
3.1.	Resultados de Cloruros, Acidez y Sulfatos.....	96
3.1.	Resultados del Análisis Elemental.....	99
CONCLUSIONES		104
RECOMENDACIONES.....		105
REFERENCIAS.....		106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Limite Máximos Permisibles (LMP) para agua potable.....</i>	19
Tabla 2 <i>Correlación de conductividad eléctrica y sólidos disuelto totales en varios tipos de agua</i>	23
Tabla 3 <i>Eliminación de E. Coli con diferentes valores de ORP.....</i>	24
Tabla 4 <i>Concentración estándar para definir las características del agua.....</i>	27
Tabla 5 <i>Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la JASS de Pfullpuri</i>	46
Tabla 6 <i>Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la JASS de Q'enko</i>	48
Tabla 7 <i>Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la JASS Q'ello Q'ello</i>	50
Tabla 8 <i>Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la JASS de Soñaqque</i>	53
Tabla 9 <i>Parámetros que se han determinado en las muestras de agua</i>	57
Tabla 10 <i>Elementos y longitudes de onda utilizadas en el análisis elemental mediante MP-AES</i>	68
Tabla 11 <i>Condiciones instrumentales.....</i>	71
Tabla 12 <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el pH.....</i>	74
Tabla 13 <i>Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para el pH</i>	75
Tabla 14 <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para sólidos disueltos totales</i>	78
Tabla 15 <i>Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para los sólidos disueltos totales.....</i>	78
Tabla 16 <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para conductividad eléctrica.....</i>	79
Tabla 17 <i>Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para la conductividad eléctrica.....</i>	80

Tabla 18 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto	81
Tabla 19 Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para el oxígeno disuelto.....	82
Tabla 20 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para turbidez	84
Tabla 21 Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para turbidez	84
Tabla 22 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el potencial de óxido reducción (ORP)	87
Tabla 23 Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para el potencial de óxido reducción (ORP).....	88
Tabla 24 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para dureza.....	94
Tabla 25 Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para dureza	95
Tabla 26 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para alcalinidad	95
Tabla 27 Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para alcalinidad	96
Tabla 28 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para cloruros	98
Tabla 29 Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para cloruros	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Reacciones entre las tres fases (aire, agua y roca) del sistema carbonato y bicarbonato</i>	28
Figura 2 <i>Distribución del cloro libre (HOCl/ClO^-) en función del pH</i>	30
Figura 3 <i>Sistema de introducción de la muestra</i>	37
Figura 4 <i>Diagrama general de la Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP-AES)</i>	38
Figura 5 <i>Localización de la zona de estudio</i>	45
Figura 6 <i>Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS Pfullpuri</i>	47
Figura 7 <i>Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS Q'enko</i>	49
Figura 8 <i>Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS Q'ello Q'ello</i>	51
Figura 9 <i>Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS soñaque</i>	54
Figura 10 <i>Etiqueta de frascos</i>	56
Figura 11 <i>Reacción de oxidación de la N,N-Dietil-P-fenilenodiamina para la determinación de cloro libre</i>	59
Figura 12 <i>Reacción de oxidación N,N-Dietil-P-fenilenodiamina para la determinación de cloro total</i>	59
Figura 13 <i>Reacción de sulfatos, método SulfaVer 4</i>	60
Figura 14 <i>Determinación de Fe^{3+} y Fe^{2+}, método TPTZ iron y 1, 10 fenantrolina, respectivamente</i>	61
Figura 15 <i>Formación del cromato de plata, método Mohr</i>	62
Figura 16 <i>Formación del complejo EDTA con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+}, método volumétrico</i>	64
Figura 17 <i>Reacciones químicas involucradas en la determinación de alcalinidad</i>	65

Figura 18 <i>Reacciones de neutralización en la titulación de acidez.....</i>	66
Figura 19 <i>Posición de las muestras a determinar con su respectivo ID.....</i>	70
Figura 20 <i>Valores obtenidos de pH en las JASS Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko ..</i>	74
Figura 21 <i>Valores obtenidos de conductividad eléctrica y sólidos disuelto totales de las JASS Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko</i>	77
Figura 22 <i>Valores obtenidos de OD en las JASS Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko .</i>	81
Figura 23 <i>Valores obtenidos de turbidez en las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko.....</i>	83
Figura 24 <i>Valores obtenidos de ORP en las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko</i>	86
Figura 25 <i>Concentraciones obtenidos de cloro total y cloro libre residual de las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko</i>	90
Figura 26 <i>Concentraciones obtenidos de hierro total y hierro ferroso en las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko</i>	92
Figura 27 <i>Concentraciones obtenidos de dureza y alcalinidad en las JASS Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko</i>	94
Figura 28 <i>Concentraciones obtenidos de cloruros en las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko.....</i>	97
Figura 29 <i>Resultados de elementos mayoritarios (Ca, Na, Mg y K)</i>	101
Figura 30 <i>Resultados de elementos minoritarios.....</i>	103

GLOSARIO DE ABREVIATURA

ANA	Autoridad Nacional del Agua
EDTA	Ácido Etilendiaminotetraacético
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
DISABAR	Dirección de Saneamiento Básico Rural
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
EPS	Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento
EMPSSAPAL	Empresa Municipal Prestadora de Servicios de Saneamiento de las Provincias Alto Andinas
FONCODES	Fondo Nacional de Compensación para el Desarrollo Social
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
ID	Código de Identificación
JASS	Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento
JAAP	Juntas Administradoras de Agua Potable
LMP	Límites Máximos Permisibles
LOD	Límite de Detección
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINSA	Ministerio de Salud
MPCH	Municipalidad Provincial de Chumbivilcas
MP-AES	Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Microondas
MRC	Material de Referencia Certificado
OE	Operadores Especializados
OD	Oxígeno Disuelto

ONU	Organización de las Naciones Unidas
OMS	Organización Mundial de la Salud
ORP	<i>Oxidation-Reduction Potential</i> (Potencial de Óxido-Reducción)
pH	Potencial de Hidrógeno
ppm	Partes por millón
SAP	Sistema de Agua Potable
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
T	Temperatura
THM	Trihalometanos
UGM	Unidad de Gestión Municipal
UNT	Unidad Nefelométrica de Turbidez
US-EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para los seres humanos ya que interviene en los diferentes procesos biológicos, tales como: la termorregulación, el transporte de desechos y nutrientes, entre otros (Bentivegna et al., 2021). Asimismo, este recurso es utilizado en la generación de energía, agricultura, minería, fabricación de textiles, industrias alimentarias, etc. (Senthil Kumar & Yaashikaa, 2019). Por otro lado, del agua total presente en la tierra, el 97.5 % es agua salada y el 2.5 % es agua dulce y solo el 1 % del agua dulce está disponible para el consumo humano (Yan et al., 2016).

Las primeras civilizaciones se han establecido en lugares cercanos a este recurso hídrico (manantiales o ríos), la cual ha permitido el desarrollo de la agricultura, la ganadería y la creación de los primeros núcleos urbanos (Argudo, 2019). En el Perú, las civilizaciones como: la cultura Moche, Nazca, Wari, etc., han utilizado este recurso para la producción de maíz, coca, ají, frijol, yuca, entre otros y; la crianza de animales, como: la alpaca, vicuña, guanaco, etc. (Peralta, 2013). Sin embargo, en los últimos años, la disponibilidad de este recurso está en descenso debido al incremento de la población, contaminación antropogénica y el cambio climático. Esto se puede evidenciar particularmente en países como Nepal, India, Bangladesh y China (Kalaitzidou et al., 2023).

El incremento de la población es una de las principales causas que afecta negativamente la disponibilidad y suministro del agua potable debido a la escasez y el agotamiento de este recurso a nivel mundial (Loaiza, 2017). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el incremento de la población mundial al 2030 ascenderá a 8 548 millones de habitantes y, en América Latina y El Caribe se estima que para el año 2030 la población ascenderá a 706 millones de habitantes (ONU, 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2021 ha reportado que, aproximadamente 2 000 millones de habitantes en el mundo carecen de acceso al agua y al menos 1 700 millones de habitantes consumen agua de fuentes contaminadas con heces (OMS, 2023). Asimismo, en América Latina y el Caribe aproximadamente 161 millones y 143 millones de habitantes no tienen acceso al agua potable y saneamiento, respectivamente (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2022).

En el Perú, la población se ha incrementado a 34.2 millones de habitantes en el 2024 y se estima que para el 2050 la población ascienda a 35 millones de habitantes, aproximadamente (CEPLAN [Centro Nacional de Planeamiento Estratégico], 2025). Según el informe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), emitido en el 2020, alrededor de 3 millones de peruanos no cuentan con acceso al agua potable. Es decir, que estas personas recurren a otras formas de acceso al agua, como: camiones cisterna, pozo, río, acequia, manantial, entre otros (INEI, 2020). El consumo de agua insalubre (no potable) implica riesgos a la salud de las personas generando afecciones y enfermedades como la diarrea, el cólera, fiebre tifoidea, disentería, poliomielitis, hepatitis, entre otros; sumado a esto, las deficientes condiciones de saneamiento e higiene aumentan la transmisión de estas enfermedades, siendo los niños los más vulnerables (OMS, 2023; Shah et al., 2023).

Las entidades que brindan el servicio de agua potable en el Perú son: las empresas prestadoras de servicio privado o mixto denominadas EPS, las Unidades de Gestión Municipal (UGM), Operadores Especializados (OE) y las Juntas Administradoras de Servicio de Saneamiento, denominadas por sus siglas JASS (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2013; Presidencia de la República del Perú, 2021). La misión en común que tienen estas entidades de servicio de agua potable (EPS, UGM, OE o JASS), es la de suministrar agua de calidad para el

consumo humano. Es decir, que el agua “potable” suministrada debe cumplir los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (Ministerio de la Salud [MINSA], 2010).

En la actualidad, el centro poblado (CCPP) de Santo Tomás tiene 12 397 habitantes, según el último censo realizado por el INEI en el 2017. La Empresa Municipal Prestadora de Servicios de Saneamiento de las Provincias Alto Andinas (EMPSSAPAL) es la entidad encargada de suministrar agua potable a la población urbana; mientras que, en las comunidades o zonas aledañas los prestadores de servicios de agua son las JASS.

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad realizar la medición de parámetros fisicoquímicos y determinación del contenido de metales del agua de consumo humano que suministran las JASS Pfullpuri, Q’ello Q’ello, Q’enko y Soñaqque para evaluar la calidad del agua. Asimismo, esta investigación ha buscado identificar posibles riesgos a la salud de los seres humanos asociado a los contaminantes, así como proponer recomendaciones para la mejora de la calidad del agua y garantizar el suministro a la población beneficiaria (JASS).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad del agua es una condición (física, química y microbiológica) que debe cumplir el agua para ser consumido por los seres humanos. Para la obtención de un agua de calidad se utilizan diferentes productos químicos tales como: ozono, hipoclorito de calcio, cloro gas, etc. Estos compuestos son fuertes agentes oxidantes y desinfectantes que pueden eliminar microorganismos patógenos, bacterias, mohos, algas, entre otros. Por otro lado, el suministro de agua es la cantidad de agua que necesita una persona para satisfacer sus necesidades. Es decir, la calidad y el suministro son las condiciones que un agua debe tener para el abastecimiento a la población rural y urbana. En la actualidad, todavía no se ha logrado una eficiente gestión y distribución de agua potable. Un estudio realizado en 2019 por el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), puso en manifiesto que 2 200 millones de habitantes en el mundo no tenían acceso al agua potable. Es decir, que estos habitantes se abastecían de otras fuentes de agua (OMS & UNICEF, 2019). Es por ello que, en la asamblea general desarrollada por la ONU en el 2015, se ha planteado 17 objetivos de desarrollo sostenible, siendo uno de los objetivos al 2030 garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos los seres humanos. Esto mediante las inversiones en infraestructura y el fortalecimiento de las comunidades para la mejora de la gestión de los recursos hídricos y el saneamiento (ONU, 2018).

En el Perú, en la década de los 80 y 90, los encargados del servicio de agua potable y la construcción de infraestructura de los sistemas de agua potable en la zona rural estaban a cargo de la Dirección de Saneamiento Básico Rural (DISABAR) y el Fondo Nacional de Compensación para el Desarrollo Social (FONCODES), respectivamente. Por otra parte, el problema que han tenido DISABAR y FONCODES, son la falta de asistencia técnica en administración,

mantenimiento y operación a las organizaciones comunales como consecuencia estas organizaciones no podían brindar el servicio de agua potable (Oblitas de Ruíz, 2010). En la actualidad, los encargados de realizar la gestión, control y monitoreo del agua potable en la población urbana son las EPS; mientras que, en la población rural la entidad encargada son las JASS. Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) existen 50 EPS que están distribuidas en diferentes regiones del país y más de 24 000 organizaciones comunales, ubicándose 4 EPS en la región del Cusco, siendo uno de ellos EMPSSAPAL. Por otro lado, en la provincia de Chumbivilcas, en particular en el distrito de Santo Tomas existe aproximadamente 98 JASS que están debidamente reconocidas por la Municipalidad Provincial de Chumbivilcas. En específico, las JASS Pfullpuri, Q'ello Q'ello, Q'enko, y Soñaqqe distribuyen agua potable a la población perirubana y urbana al centro poblado de Santo Tomás. JASS de Pfullpuri y Q'enko se encuentran ubicados en la zona este y sureste, respectivamente; mientras que, la JASS de Q'ello Q'ello y Soñaqqe se encuentran ubicados en la zona sur del centro poblado de Santo Tomás. Estas JASS se encargan de la distribución y la potabilización del agua; es decir, estas entidades son las encargadas del abastecimiento y suministro de agua potable de calidad de acuerdo con los LMP enmarcados en el D. S. N° 031-2010 – salud ambiental. No obstante, algunas JASS presentan problemas en cuanto a calidad y distribución de agua potable, debido a la ineficiente gestión, administración y operación de los SAP. Sumado a esto, el incremento de la población, el cambio climático y la creciente escases de agua, hace suponer que los pobladores de estas JASS podrían estar consumiendo agua no tratada y con deficiente suministro de agua. Por lo que, aumenta el riesgo de padecer las enfermedades como la diarrea, el cólera, fiebre tifoidea, disentería, poliomiélitis, hepatitis, entre otros (OMS, 2023). En este sentido, la pregunta de este trabajo de investigación es:

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Los parámetros fisicoquímicos y composición química del agua de consumo humano suministrado por las Juntas Administradoras de Servicio de Saneamiento (JASS) de Pfullpuri, Q'ello Q'ello, Q'enko y Soñaqque al centro poblado de Santo Tomás-Chumbivilcas; cumplirá con los valores establecidos en los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de consumo humano?

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Perú es considerado uno de los países más ricos en recursos hídricos, debido a que, posee el 4.6 % de agua superficial del planeta Tierra. Sin embargo, carece de una eficiente gestión y distribución de agua potable (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2009). Esta situación se ve evidenciada en los resultados del reporte realizado por el INEI en el 2023, en el que se indica que, solo el 89.1 % de la población tienen un abastecimiento de agua proveniente de una red pública, ya sea dentro o fuera de la vivienda. Mientras que, el 10.9 % se abastece de otras formas, tales como: camión cisterna, manantial, agua subterránea, ríos, entre otros (INEI, 2023). Por lo tanto, es vital que la población tenga acceso al agua potable y al saneamiento básico, para no contraer enfermedades que afecten a la salud de las personas (Cabezas, 2018). Al respecto, la OMS ha reportado que una de las principales causas de muerte en niños menores de 5 años son las enfermedades diarreicas, ya que alrededor de 525,000 niños fallecen anualmente. No obstante, estas cifras podrían disminuir si se tiene un acceso de agua potable, servicio de saneamiento e higiene adecuado (OMS, 2017).

El presente estudio, además de su valor académico se constituye como una herramienta de gestión para las autoridades competentes y la comunidad. Los resultados obtenidos son un informe que estará a disposición de la Municipalidad Provincial de Chumbivilcas y de las JASS. Este documento servirá como un diagnóstico actualizado de la calidad del consumo humano y, al mismo tiempo, como una base de datos que podrá ser utilizado como antecedente para estudios y/o monitores futuros. En ese sentido se proporciona una evidencia para fundamentar la toma de decisiones y acciones para implementar mejoras en el sistema de agua potable orientadas a garantizar agua segura a las JASS.

La medición de los parámetros fisicoquímicos se han realizado *in situ* y otros se han analizado en el Laboratorio Institucional de Investigación en Análisis Geoquímico Ambiental (AGA) de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Este laboratorio creado bajo la resolución N°-CU-409-2023-UNSAAC.

No existen estudios previos que hayan evaluado el contenido de metales en dichas JASS, empleando un Material de Referencia Certificado (MRC), metodología estandarizada, su procesamiento en laboratorio y la aplicación novedosa como lo es la Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP-AES).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la calidad del agua de las 4 Juntas Administradoras de Servicio de Saneamiento (JASS) que suministran al centro poblado de Santo Tomás, Chumbivilcas.

Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua de consumo de las JASS de Pfullpuri, Q'ello Q'ello, Q'enko y Soñaqqe del centro poblado de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas.
- Analizar el contenido de metales del agua de consumo de las JASS de Pfullpuri, Q'ello Q'ello, Q'enko y Soñaqqe del centro poblado de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas.
- Interpretar los datos obtenidos entre las JASS de Pfullpuri, Q'ello Q'ello, Q'enko y Soñaqqe del centro poblado de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de Estudio

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Carpio y Uguña (2022), en su proyecto de investigación, han evaluado la calidad del agua de las juntas administradoras de agua potable (JAAP) pertenecientes a la microcuenca del Burgay-Ecuador. Para dicha evaluación determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos en todos los sistemas de agua potable “captación-planta de tratamiento-domicilios” de las JAAP pertenecientes a los cantones Azogues, Biblián y Deleg. Estos cantones son divisiones administrativas de segundo grado de cada provincia. Los parámetros evaluados como pH, temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, cloro libre, turbidez, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y coliformes fecales han registrado valores dentro de los estándares de calidad del agua de dicho país; sin embargo, en todas las captaciones se ha evidenciado un excedente en los valores de la demanda bioquímica de oxígeno; es decir que, existe la presencia de microorganismos en estos sistemas de agua.

Abegaz y Midekssa (2021), han realizado un trabajo de investigación titulado “Calidad y seguridad de las fuentes de agua potable de las comunidades rurales en el distrito de Guto Gida, Oromia, Etiopía”. Los valores más altos se observaron en los parámetros de conductividad eléctrica (594.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos disueltos totales (319.7 mg/L), turbidez (8.01 UNT), hierro (1.14 mg/L), plomo (0.15 mg/L), zinc (3.9 mg/L) y manganeso (0.9 mg/L). Por otro lado, se han registrado valores de pH inferiores a 6.5 (aproximadamente en el 60 % de muestras). Estos valores de pH podrían favorecer la disolución de algunos metales y por ende la correlación de estos resultados.

Sánchez et al. (2020), han analizado la calidad del agua para consumo humano en la comunidad rural de Corral de Piedra de Nicoya, provincia Guanacaste-Costa Rica, durante el periodo de abril del 2015 hasta marzo del 2018. El muestreo se ha realizado en 9 puntos del sistema de abastecimiento, logrando recolectar 57 muestras. Los valores promedio de dureza total, sulfato, cloruro, nitrato, turbidez y pH determinadas fueron de 257.6 mg/L, 7.95 mg/L, 6.28 mg/L, 3.15 mg/L, 1.31 UNT y 6.87, respectivamente. Estos parámetros cumplen con los valores máximos admisibles de la normativa de dicho país; sin embargo, la conductividad eléctrica ha obtenido un valor promedio de 598 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el único parámetro que supera los estándares para el consumo humano. Concluyéndose que el agua de dicha comunidad contiene minerales disueltas; además, de acuerdo con los resultados de dureza se puede clasificar como agua dura o muy dura debido a la naturaleza geológica (minerales de caliza) de la zona.

Mkwate y su grupo de investigación (2017), han evaluado la calidad y el tratamiento de agua potable en hogares rurales de Njerenje y Phimbi del distrito de Balaka, Malawi. Los resultados de dicha investigación han evidenciado que, los parámetros fisicoquímicos: pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, potasio, cloruro y hierro se han encontrado por debajo de los niveles máximos permitidos. Sin embargo, dos pozos de agua (SW2 y SW3) registraron valores de turbidez ligeramente superiores al límite establecido por la OMS; asimismo, los resultados microbiológicos se encontraron por encima del valor establecido de dicha entidad. Esto podría atribuirse a los valores relativamente altos de turbidez (14.60 UNT) que aumentan la presencia de microorganismos debido a la intrusión de escorrentía, descarga de desechos fecales del ganado y la acelerada permeabilidad de la geología de la zona.

Gómez et al. (2017), han determinado parámetros fisicoquímicos, tales como: pH, conductividad eléctrica, potencial de óxido-reducción (*oxidation reduction potential* [ORP]),

sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y concentración de metales (Fe y Mn) en 7 pozos de agua subterránea de los municipios de Hidalgo y Apan en México. los resultados obtenidos han evidenciado que los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los LMP establecidos por la norma oficial mexicana NOM-127-SAA1-1994. Sin embargo, las concentraciones de manganeso en los pozos Chimalpa (3.71 mg/L) y Santa Cruz (4.05 mg/L) están por encima del límite recomendado por dicha norma (0.5 mg/L).

Chiles (2015), ha realizado un estudio de la calidad y cantidad del agua potable de 34 juntas administradoras de agua potable (JAAP) del Cantón Montufar-Ecuador. Ha determinado los parámetros: químicos, físicos y microbiológicos. Los resultados más relevantes se dieron en la captación de Chiles, la cual ha presentado valores de pH igual a 6.1, debajo de los 6.5 establecido en los LMP. De igual forma, la turbidez ha superado el nivel máximo permitido de 5 a 12.30 UNT en la captación Chutan Alto y de 5.89 UNT en la captación de Athal. Por otra parte, se ha identificado que, el 72 % de las viviendas que pertenecen a las JAAP no cumplen con LMP respecto al parámetro de cloro libre residual ya que se ha evidenciado valores iguales a cero. Concluyéndose, que no se ha brindado un servicio de agua potable de calidad acorde a la norma técnica ecuatoriana 1108.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

Guimaraes (2022), ha evaluado la calidad del agua en la JASS de San Isidro, distrito Callería - Ucayali. Determinando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, tales como: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, turbiedad, cloro libre, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso, selenio, arsénico, cadmio, mercurio, plomo, coliformes totales y coliformes termotolerantes. Las muestras recolectadas provinieron de la salida del reservorio y 2 viviendas. La recolección de muestras se ha desarrollado empleando la metodología establecida por el

ministerio de la salud (MINSA) y los resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de dicha entidad. Los parámetros físicos y químicos cumplen con los valores establecidos en los LMP; sin embargo, parámetros como: cloro libre residual y microbiológico no cumplen los valores establecidos de dicha normativa. Concluyendo que esta JASS no brinda agua de calidad.

Torres y Coronación (2021), han determinado los parámetros fisicoquímicos (turbidez, pH, conductividad eléctrica, cloruros, cloro libre residual y dureza total), microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) y parámetros inorgánicos (Cd, As, Cr, Mo y Cu) en los centros poblados de Pueblo Libre y Pampachacra, Huancavelica. Para este estudio han recolectado muestras de manantiales, reservorios y viviendas de los centros poblados ya mencionados. En ambos centros poblados los parámetros inorgánicos como cadmio y arsénico han superado los valores establecidos en los ECA y LMP para agua de consumo humano; es decir, el agua de ambos centros poblados no cumple con los valores establecidos de la normativa peruana.

Pérez (2021), ha realizado un monitoreo de la calidad del agua de consumo humano cada 15 días, durante los meses de agosto a octubre del 2019 en el Valle de Vitor-Arequipa. Para dicho estudio, han evaluado parámetros microbiológicos y la medición de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, turbidez y cloro libre residual). Demostrando que, existe niveles bajos y ausencia de cloro libre residual en reservorios y conexiones domiciliarias, lo cual explica la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*.

Benites (2021), ha evaluado la calidad del agua de consumo humano, comparando los resultados con los LMP del MINSA y los ECA del Ministerio del Ambiente (MINAM) en Chulucanas, Provincia de Morropón-Piura. Ha determinado parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, temperatura, turbidez, cloruros, dureza total,

alcalinidad, magnesio y calcio) y microbiológicos de 9 estaciones de monitoreo. De los resultados ha observado que el sistema de bombeo–pozo Huapalas (M-3), contenía niveles elevados de cloruros (646.4 mg/L) y conductividad eléctrica (3,770 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

1.1.3. Antecedentes Locales

Chipana (2021), en su estudio titulado “La calidad del agua como factor de riesgo para las prestaciones asistenciales en el hospital Santo Tomás, Chumbivilcas” ha determinado parámetros microbiológicos (bacteriológico y parasitológico) en 7 piletas del hospital de Santo Tomás. Los resultados han evidenciado que, en la piletta “hospitalización Covid-19”, piletta “sala de partos”, piletta “sala de operaciones” y piletta “centro de esterilización” presentaban coliformes totales. A su vez, en la piletta “hospitalización Covid-19” y piletta “centro de esterilización” han evidenciado la presencia de parásitos como protozoos y helmintos. Concluyéndose que, el agua del hospital de Santo Tomás no es apto para el uso en actividades del hospital y para el consumo humano debido a que no se encuentra dentro del rango de los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010 S. A.

la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2012), han desarrollado un estudio de la calidad del agua en las regiones de Cusco y Apurímac mediante el programa interregional “Gestión integral y adaptativa de recursos ambientales para minimizar vulnerabilidades al cambio climático en microcuencas andinas”. Para el análisis del agua se han focalizado 10 distritos de ambas regiones, siendo Santo Tomás uno de los distritos de muestreo. Los puntos de muestreo en dicho distrito se han realizado en aguas de tipo superficial (Santo Tomás A) y manantial (Santo Tomás B) correspondiente a los sistemas de agua potable de la zona urbana. Los valores de pH (8.76) y turbidez (6.45 UNT) del reservorio de Santo Tomás A, superaban los LMP establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Agua

El agua es un recurso esencial para la vida y por ende para la salud de las personas ya que cumple diferentes funciones en el organismo, tales como: disolvente bioquímico, medio donde ocurre el intercambio de sustancias entre tejidos, soporte del sistema circulatorio, entre otros (Cheuvront et al., 2020). Asimismo, el agua se distribuye en un 65 % y 35 % aproximadamente en los compartimentos de líquido intracelular y extracelular del ser humano, respectivamente (Sawka et al., 2005).

El agua constituye aproximadamente el 75 % de la masa total del cuerpo humano; sin embargo, a medida que el ser humano va envejeciendo este porcentaje va decreciendo hasta un 55 %. La ingesta de agua en niños y personas mayores varía entre 0.7 a 3.8 L/día. Mientras que, la ingesta menor a 1 L/día en personas mayores aumenta la osmolalidad provocando la formación de cálculos renales (Salas et al., 2020). Por otro lado, la deshidratación grave en las personas puede conducir al delirio, insuficiencia renal, convulsiones y la muerte, sumado a esto, el consumo de agua no potable o contaminada en las personas produce una variedad de enfermedades, tales como hepatitis A, cólera, amebiasis, entre otros (Wutich et al., 2020).

1.2.2. Tipos de Agua para Consumo Humano

Existen 2 tipos de agua para consumo humano: agua subterránea y agua superficial, se considera agua subterránea al agua que se encuentra debajo de la superficie de la tierra, almacenándose en los acuíferos, la cual puede ser extraído por bombeo o mediante el afloramiento natural en forma de humedales y manantiales; mientras que, el agua superficial se considera a los ríos, quebradas, lagos y lagunas (Escamilla González et al., 2022; SUNASS, 2004).

1.2.3. Marco Normativo

a. Constitución Política del Perú

Según, la constitución política del Perú promulgada en 1993 “el Estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos” (Constitución Política del Perú, 1993).

b. Decreto Legislativo 1620 que Modifica el Decreto Legislativo N° 1280. Decreto Legislativo que Aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento

El decreto legislativo 1620 dispone las normas a las entidades que brindan los servicios de agua potable y saneamiento en el Perú, con la finalidad de mejorar el servicio universal, la sostenibilidad y la calidad del agua además establecer una gestión y prestación eficiente, roles y funciones de la administración pública y establecer medidas que aumenten la confiabilidad de los servicios de agua y saneamiento (D. L. 1620, 2023).

c. Ley de Recursos Hídricos N° 29338

Según la ley de recurso hídricos, la clasificación de uso del agua es de la siguiente manera:

- Uso primario: es la utilización directa del agua, a partir de las fuentes naturales, con el objetivo de satisfacer sus necesidades personales, como: el aseo personal, consumo humano, preparación de alimentos, etc.
- Uso poblacional: Es el agua que necesita una población para satisfacer sus necesidades personales (aseo personales y alimentos). Esta agua es captada y distribuida a través de una fuente o red pública, con las condiciones óptimas para consumo humano en calidad y cantidad.

- Uso productivo: el uso productivo del agua, se usa para los procesos de producción, como: agrario, acuícola, energético, industrial, medicinal, minero, recreativo, turístico y transporte (ANA, 2019).

d. Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano

Las guías de la OMS proporcionan recomendaciones para una buena gestión de la calidad del agua y disponer un abastecimiento seguro mediante el control de componentes peligrosos que podrían ser perjudiciales para los seres humanos. Esta guía está dirigida a entidades reguladoras del agua y la salud para la elaboración de normas y estándares nacionales (OMS, 2018).

e. Decreto Supremo N°031-2010-Salud Ambiental

Este decreto supremo N° 031-2010-Salud Ambiental, establece el reglamento de la calidad del agua para consumo humano; es decir, que los parámetros como: el olor, sabor, turbiedad, pH, conductividad eléctrica (25 °C), sólidos totales disueltos, cloruros, sulfatos, dureza total, amoníaco, hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc, sodio, entre otros no deben de exceder los LMP de dicha normativa (MINSA, 2010). Los LMP son valores de cada parámetro (químicos, físicos, biológicos, etc.) que presenta el agua, ya que valores superiores a lo establecido pueden causar daños a la salud de las personas (MINAM, 2017).

f. Decreto Supremo N°004-2017-MINAM

Este decreto establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, considerándose 4 categorías (categoría 1: poblacional y recreacional; categoría 2: extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales; categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales y la categoría 4: conservación del ambiente acuático), siendo la categoría 1 para aguas destinadas al consumo humano. Los ECA al igual que los LMP son parámetros físicos, químicos, biológicos, entre otros que se miden en el ambiente, los cuales son evaluados de manera periódica. En la tabla

1, se describe los parámetros analizados que se consideran en el ECA, LMP y a su vez los parámetros que se han determinado en este trabajo de investigación.

Tabla 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Limite Máximos Permisibles (LMP) para agua potable

N°	Parámetros	Unidad de medida	031-2010 Salud Ambiental (LMP)	004-2017-MINAM (ECA)	
				A1: aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
1	Turbiedad	UNT	5	5	100
2	Temperatura	°C	....	Δ 3	Δ 3
3	pH	...	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	5.5 – 9.0
4	ORP	mV	...	...	...
5	Conductividad eléctrica	μS/cm o μmho/cm	1 500	1 500	1 600
6	Sólidos totales disueltos	mg/L	1 000	1 000	1 000
7	Cloruros	mg/L	250	250	250
8	Acidez	mg/L	...	...	...
9	Alcalinidad	mg/L	...	...	...
10	Dureza total	mg/L	500	500	...
11	Sulfatos	mg/L	250	250	500
12	Cloro total	mg/L	5	...	...
13	Cloro libre	mg/L	0.5	...	...
14	Hierro total	mg/L	0.3	0.3	1
15	Oxígeno disuelto	mg/L	...	≥ 6	≥ 5
16	Aluminio	mg/L	0.2	0.9	5
17	Cobre	mg/L	2	2	2
18	Zinc	mg/L	3	3	5
19	Sodio	mg/L	200	...	...
20	Potasio	mg/L	...	...	...
21	Cromo	mg/L	0.05	0.05	0.05
22	Manganeso	mg/L	0.4	0.4	0.4
23	Calcio	mg/L	...	...	...
24	Niquel	mg/L	0.003	0.003	0.005
25	Bario	mg/L	0.7	0.7	1.0
26	Plomo	mg/L	0.01	0.01	0.05
27	Magnesio	mg/L	...	...	...

Fuente: (MINSA, MINAM)

1.2.4. Calidad del Agua

La calidad del agua se puede definir como el conjunto de características físicas, químicas, y microbiológicas que debe cumplir el agua para garantizar la salud de las personas y de los ecosistemas. La calidad del agua se evalúa comparando con los valores de referencia establecidos en normativas nacionales o internacionales (Wutich et al., 2020). Estos valores de referencia son concentraciones aceptables de cada parámetro las cuales están avalados desde un punto de vista científico y, en consecuencia, el agua que cumpla con estos valores puede ser consumido dado que no son un riesgo para la salud de las personas. La vigilancia de la calidad del agua para consumo humano se realiza de manera periódica mediante los organismos fiscalizadores, esto con el objetivo de mejorar la calidad, cantidad, accesibilidad, asequibilidad y el correcto funcionamiento de los SAP (OMS, 2018).

1.2.5. Tipos de Muestra de Agua

Existen 3 tipos de muestra de agua, tales como: muestra simple o puntual, muestra compuesta y muestra integrada. La muestra simple, es aquella porción de agua que se recolecta en un lugar y periodo determinado; es decir, esta muestra es representativa para todo el cuerpo de agua. La muestra compuesta es la recolección de varias muestras simples en un mismo lugar, las cuales son recolectadas en diferentes intervalos de tiempo que posteriormente se mezclan (homogenizar) en un recipiente, esta muestra da a conocer las condiciones promedio del cuerpo de agua. Finalmente, la muestra integrada consiste en la recolección de varias muestras simples y compuestas de un cuerpo de agua.

1.2.6. Cadena de Custodia

La cadena de custodia es un documento donde se detalla los datos de la toma de muestra, estos datos son verificados mediante un proceso de control y seguimiento, que inicia en la toma de

muestra hasta el cierre del recipiente y son desechados una vez reportados los resultados del laboratorio (Nava Tovar, 2011). En este documento se registra datos como: tipo de agua a recolectar, fecha, hora, georreferenciación en coordenadas UTM, localidad (distrito, provincia y región), observaciones en campo, parámetros evaluados *in situ*, parámetros a analizar en laboratorio y el estado en que han llegado los recipientes al laboratorio (MINSA, 2010).

1.2.7. Sistema de Agua Potable en el Ámbito Rural

El sistema de agua potable (SAP), es un conjunto de infraestructuras que tienen como objetivo abastecer agua potable. El SAP en las zonas rurales pueden ser de varios tipos, como: gravedad con tratamiento, gravedad sin tratamiento, bombeo sin tratamiento y bombeo con tratamiento.

-Gravedad con tratamiento, es el sistema donde el agua superficial o subterránea fluye por su propio peso; sin embargo, esta agua es de mala calidad y requiere planta de tratamiento para suministrar agua de buena calidad.

-Gravedad sin tratamiento, es el sistema donde la fuente de agua fluye por su propio peso; sin embargo, es de buena calidad y se encuentra más arriba de la población, el cual no requiere planta de tratamiento para su distribución.

-Bombeo sin tratamiento, es aquel sistema donde la fuente de agua se encuentra por debajo de la población y requiere de un sistema de bombeo para que el agua llegue a los usuarios.

-Bombeo con tratamiento, este sistema requiere de planta tratamiento y necesita de un sistema de bombeo para ser distribuida a los usuarios.

Los componentes del SAP están conformados por captación, planta de tratamiento, línea de conducción, reservorio, línea de aducción y red de distribución (Programa Modernización y Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento [PROAGUA II], 2017).

1.2.8. Parámetros de la Calidad del Agua

La calidad del agua se puede evaluar mediante parámetros, como: físicos, químicos y biológicos. Los parámetros físicos están relacionados a las propiedades organolépticas y condiciones del agua; los parámetros químicos brindan información sobre la composición del agua y presencia de sustancias contaminantes disueltas en el agua; los parámetros biológicos permiten detectar la presencia de microorganismos patógenos que pueden afectar negativamente la salud de los seres humanos. Estos parámetros están establecidos dentro de la normativa internacional (OMS) y nacional (LMP y ECA para agua).

a. Turbidez

La turbidez del agua es una medida del grado de transparencia que resulta de la presencia de partículas coloidales suspendidas como arena, arcilla, limo y otros de naturaleza orgánica (Schroeder, 2003). Estas partículas en el agua provienen de la erosión del suelo, descarga de desechos, crecimiento de algas, escorrentía urbana, animales que se alimentan en el agua como las carpas que remueven los sedimentos, entre otros (Patel & Vashi, 2015).

La medición de turbidez se realiza mediante un nefelómetro cuando un haz de luz es dispersado o absorbido por partículas coloidales y/o partículas en suspensión, los cuales generan un cambio en la dirección de la luz (Lawler, 2005).

La turbidez y el oxígeno disuelto en el agua tienen una relación inversamente proporcional ya que las aguas con concentraciones elevadas de turbidez absorben el calor de la luz solar, como consecuencia dan lugar a aguas de naturaleza cálida generando concentraciones bajas de oxígeno; es decir, que el agua fría contiene más oxígeno que el agua cálida (Patel & Vashi, 2015).

b. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica en el agua está relacionado a la presencia de iones negativos (aniones) como cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y positivos (cationes) como iones sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) que son capaces de transportar la energía eléctrica. Por otro lado, el incremento de electrolitos como el cloruro de calcio (CaCl_2) y cloruro de sodio (NaCl) aumentan los valores de la conductividad del agua; mientras que, los iones de carbonatos y sulfatos precipitan a los iones de calcio y magnesio generando una capa insoluble y disminuyendo o decreciendo el paso de la corriente eléctrica (Arango, 2012).

La CE es directamente proporcional a los sólidos disueltos totales (SDT) debido a la presencia de los iones ya mencionados; es decir, a medida que aumenta el SDT en el agua aumenta la conductividad eléctrica. La tabla 2 presenta la relación que existe entre la CE y los SDT para diferentes tipos de agua, de acuerdo a los rangos de conductividad eléctrica (Rusydi, 2018).

Tabla 2

Correlación de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales en varios tipos de agua

	CE a 25 °C		SDT/CE (K) Coeficiente
Agua natural para riego	CE=500-3000	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.55-0.75
Agua destilada	CE =1-10	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.5
Agua dulce	CE =300-800	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.55
Agua de mar	CE =45 000-60 000	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.7
Agua de salmuera	CE =65 000-85.000	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.75

Fuente: (Rusydi, 2018)

c. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH es una medida del potencial de hidrogeniones en el agua, para el que se tiene una escala que varía de 0 a 14, si el valor de pH es menor a 7 se considera que la solución es ácida, si el valor de pH es mayor a 7, la solución se denomina básica o alcalina; así mismo, si el pH es 7 se

considera neutro (Holler & Crouch, 2015). Los factores que afectan al pH del agua son: la sedimentación atmosférica provenientes del CO₂ de la atmosfera, industrias, ácidos húmicos disueltos, drenajes ácidos de mina, entre otros (García et al., 2019).

d. Potencial de Oxido-Reducción (ORP)

Es una medida del intercambio de electrones (oxidación- reducción) que ocurre en el agua, expresado en milivoltios (mV). El ORP se mide con un electrodo indicador (Pt u Au) y el electrodo de referencia (Ag/AgCl), las cuales generan una diferencia potencial (resultado). Los valores de ORP al igual que el pH se mide mediante una escala de valores que oscila entre 1 500 a -1 500 mV. Si el valor de ORP es 0 se considera neutra, si el valor de ORP es positivo se considera alcalina y si el valor es negativo se considera ácida (Corporación Eléctrica Yokogawa, 2014). Es decir, la oxidación da un valor positivo de ORP, mientras que la reducción produce un valor negativo. Por otro lado, valores superiores a 650 mV no existe la presencia de microorganismos en el agua (OMS, 1971). La tabla 3 describe la eliminación de la *E. Coli* en diferentes valores de ORP.

Tabla 3

Eliminación de E. Coli con diferentes valores de ORP

ORP (mV)	Tiempo de eliminación de <i>E. Coli</i>
650	0 segundos
600	10 segundos
550	100 segundos
500	1 hora
450	No se elimina la <i>E. Coli</i>

Fuente: (García, 2019).

e. Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno molecular (O_2) que se encuentra en el agua, puede provenir de diferentes fuentes, como el intercambio atmosférico y la fotosíntesis. Este parámetro está directamente relacionado con la presión atmosférica e inversamente proporcional a la temperatura y la salinidad del agua, ya que a mayor temperatura existe menor cantidad de OD. El OD en concentraciones bajas puede estimular la actividad microbiana, reduciendo el nitrato a nitrito y sulfato a sulfuro (Trick et al., 2018). Mientras que, concentraciones elevadas de OD afecta la corrosión de tuberías metálicas presentes en los SAP (OMS, 2018).

f. Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Los sólidos disueltos totales están compuestos por sales inorgánicas como cloruros, sulfatos de calcio, magnesio y potasio y, cantidades pequeñas de materia orgánica. La concentración de SDT es directamente proporcional a la conductividad eléctrica; es decir, a medida que aumenta la concentración de SDT mayor será la conductividad eléctrica y viceversa (Dozier & McFarland, 2005). La Agencia de Protección Ambiental de Estado Unidos (US-EPA) establece una concentración máxima de 500 mg/L, considerando los SDT como estándar secundario debido a los efectos estéticos que produce en el agua de consumo humano. Sin embargo, concentraciones superiores a 1 000 mg/L pueden afectar la palatabilidad (olor, sabor y color), turbidez y ocasionar incrustaciones en los SAP (Jácome, 2014).

g. Cloruros

El cloruro es un anión que resulta de la disolución de sales como cloruro de sodio ($NaCl$), cloruro de potasio (KCl), cloruro de magnesio ($MgCl_2$) y cloruro de calcio ($CaCl_2$) provenientes de los depósitos de sal y otros sedimentos. En aguas superficiales el cloruro varía entre 10 a 20 mg/L. Niveles superiores a 250 mg/L le confieren al agua un sabor desagradable y concentraciones

superiores a 600 mg/L en función de la alcalinidad pueden generar el deterioro de las tuberías galvanizadas de los SAP, aumentando la concentración de metales en el agua (Hunt et al., 2012; OMS, 2018).

h. Dureza Total

La dureza total se puede definir como la cantidad de cationes disueltos en el agua generalmente de calcio y magnesio expresados como CaCO_3 . Se clasifica en dureza permanente (sulfatos y cloruros) y dureza temporal (bicarbonatos de calcio y magnesio). Mientras que, la dureza no carbonatada se determina como la diferencia entre la dureza total y la alcalinidad (Julián, 2010).

La presencia de algunos metales como Zn, Cd, Pb y Cu podrían estar presentes en el agua debido a la capacidad amortiguadora reducida que presenta el agua blanda en las tuberías. Concentraciones superiores a 200 mg/L de CaCO_3 aumenta el contenido de sales incrustados en los SAP, instalaciones de tratamiento, depósitos, entre otros, (Comisión Nacional del Agua, 2019). Asimismo, concentraciones superiores a 500 mg/L de CaCO_3 podrían originar varios tipos de enfermedades como cáncer, cálculos renales, endurecimiento del cabello, entre otros (Pérez, 2016). Aunque el consumo de agua entre 200-300 mg/L de CaCO_3 puede disminuir el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares.

De acuerdo con los valores de dureza, expresado como CaCO_3 , existe diferentes tipos, tal como se indica en la tabla 4.

Tabla 4

Concentración estándar para definir las características del agua

Concentración CaCO₃ (mg/L)	Características
0 - 75	Blanda
75 - 200	Moderadamente dura
200 - 300	Dura
>300	Muy dura

Fuente: (Soto, 2009)

i. Alcalinidad Total

La alcalinidad se define como la presencia de bases y sales como los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) que actúan en la regulación del pH. Dependiendo de los iones presentes en el agua, la alcalinidad se puede clasificar como alcalinidad caustica (OH^- y CO_3^{2-}) y alcalinidad de bicarbonato (HCO_3^-) (Dhoke, 2023). La alcalinidad es un parámetro importante en el tratamiento de aguas en calderas, control de crecimiento de algas, entre otros, ya que elimina el dióxido de carbono (CO_2) en los procesos de aireación. La alcalinidad y la dureza son los principales parámetros que afectan el sabor del agua debido a la reacción que ocurre con ciertos cationes, lo que produce la formación de precipitados en tuberías de los SAP (Pérez, 2016). La alcalinidad se determina utilizando una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo, cuyo viraje es a 4.5 de pH. Mientras que, para un pH a 8.3 se utiliza el indicador de fenolftaleína (González, 2015).

j. Acidez

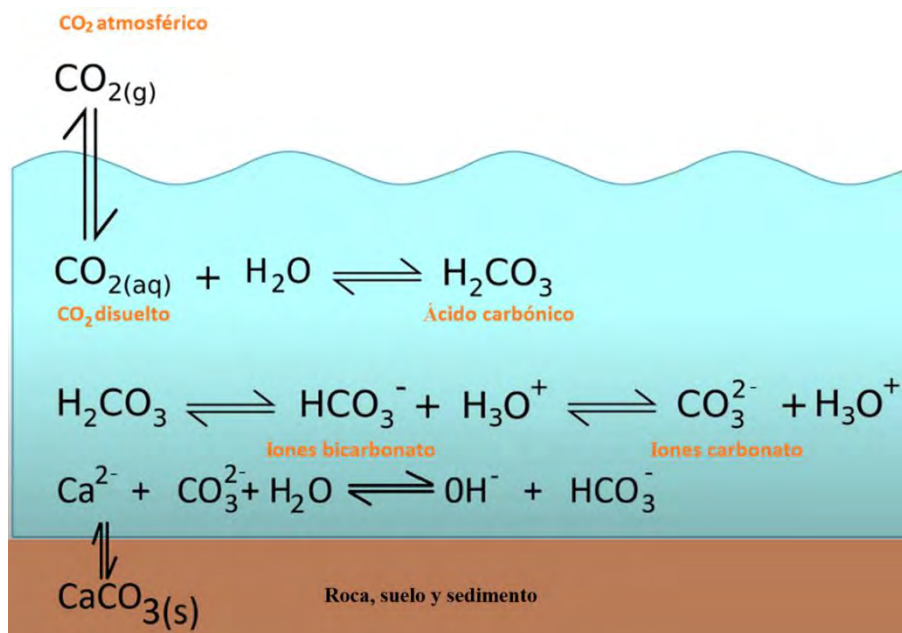
La acidez en el agua se debe a la presencia de ácidos fuertes y ácidos débiles que resulta de la disolución de CO_2 proveniente de la atmósfera, oxidación microbiana, emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y actividades antropogénicas. Los ácidos fuertes presentes en el agua residual y superficial provienen de los óxidos de azufre y nitrógeno formados en el proceso de combustión,

que son emitidos a la atmosfera y en contacto con las gotas de las nubes reaccionan para formar soluciones de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), que posteriormente caen en forma de lluvia a la superficie. Como consecuencia, el agua en la superficie es ácida, elevando la concentración de iones metálicos en los cuerpos de agua (Marambio, 2012).

Los ácidos débiles, principalmente el CO_2 disuelto genera la formación de ácido carbónico (H_2CO_3) que posteriormente se disocia en iones bicarbonato que a su vez se disocia en iones carbonato (figura 1) causando la disolución de cationes denominándose el agua “agresivo”. Por el contrario, la escasez de CO_2 en el agua favorecerá la precipitación de carbonatos con los cationes disueltos, denominándose “incrustante” (Barceló et al., 2002).

Figura 1

Reacciones entre las tres fases (aire, agua y roca) del sistema carbonato y bicarbonato



Fuente: (Baird, 2001)

Los ácidos fuertes tienen un pH menor a 4.5; mientras que, los ácidos débiles o dióxido de carbono libre (CO_2) se encuentran en un rango de pH de 4.5 a 8.3. La presencia de ácidos en el

agua de consumo humano puede ocasionar la corrosión de metales y los procesos biológicos en los SAP. Por otro lado, la determinación de dicho parámetro se realiza en función del pH; es decir, si el pH es menor a 4.5 se utiliza un indicador de anaranjado de metilo y para un pH menor a 8.3 se utiliza un indicador de fenolftaleína (Rodier et al., 2009).

k. Sulfatos

Los iones sulfatos en el agua provienen principalmente de fuentes naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales derivan de la oxidación de minerales (en particular de la pirita), disolución de minerales como el yeso, actividad volcánica, etc; mientras que las fuentes antropogénicas provienen de la infiltración de aguas residuales, fertilizantes, detergentes sintéticos, entre otros (Wang & Zhang, 2019). En el agua de consumo humano, los sulfatos proveen un sabor agradable; sin embargo, concentraciones superiores a 1000 mg/L pueden causar problemas gastrointestinales (laxante) provocando como efecto secundario la diarrea en los niños y adultos mayores (Bolaños et al., 2017).

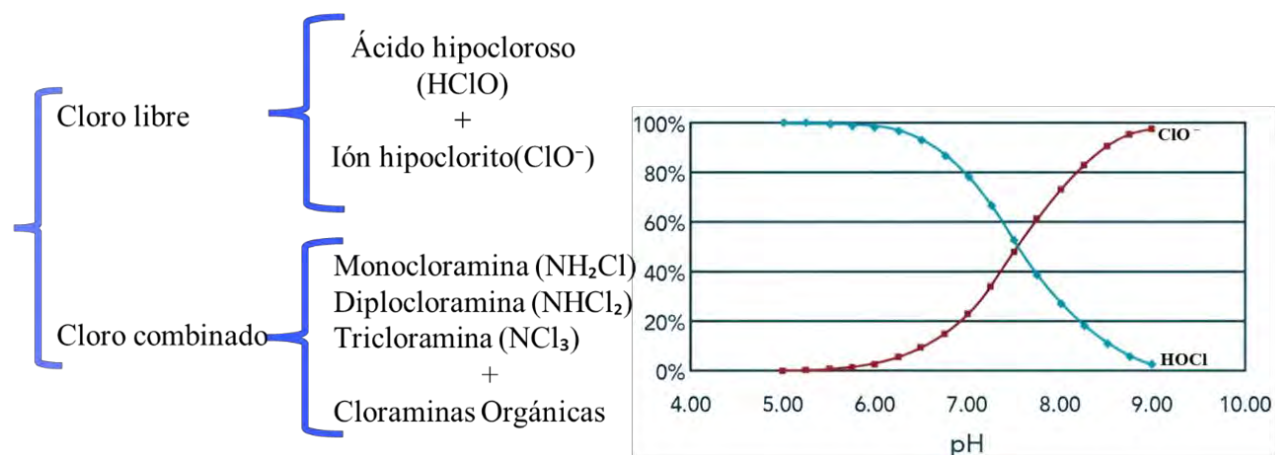
l. Cloro Libre y Cloro Total

El cloro es un biocida que se produce en las industrias para la potabilización del agua, los métodos de desinfección química más utilizados son: el cloro gas (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaClO) y el hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Al disolverse en agua, estas sustancias pueden formar cloro libre (HClO y ClO^-) y cloro combinado (NH_2Cl , NHCl_2 y NCl_3), siendo el cloro total el resultado de la combinación de ambas formas de cloro (Askenaizer, 2003; Ratnayaka et al., 2009). La presencia de cloro libre en el agua depende del valor de pH; dado que, a valores de pH ácido se forma el ácido hipocloroso (HClO) y a pH básico se forma el ion hipoclorito (ClO^-) (Guillemes, 2015). La eficacia del cloro libre depende de la concentración de turbidez que exista en el agua; ya que para una buena desinfección la turbidez debe ser menor a 1 UNT, además la

OMS recomienda que para una desinfección eficaz el cloro libre debe ser igual o mayor a 0.5 mg/L. Por otra parte, el cloro al reaccionar con materia orgánica puede producir trihalometanos (THM) y otros subproductos halogenados que pueden ser perjudiciales para los seres humanos, debido a que podría estar relacionado a enfermedades como cáncer renal, efectos reproductivos, problemas con el hígado y riñones (Araya et al., 2019). La figura 2, describe las formas de cloro libre y cloro combinado en el agua, así como la forma de cloro libre que predomina en función del pH del agua.

Figura 2

Distribución del cloro libre (HOCl/ClO^-) en función del pH



Fuente: (Hanna Instruments, 2022)

m. Hierro Total y Hierro Ferroso

El hierro (Fe) es un elemento metálico que se encuentra en el agua en forma soluble (Fe^{2+}) e insoluble (Fe^{3+}), provenientes de fuentes geogénicas, residuos domésticos y efluentes industriales. La presencia de este elemento en aguas subterráneas resulta de la lixiviación de rocas y minerales de hierro; mientras que, en aguas superficiales provienen de la contaminación procedentes de las industrias siderúrgicas, minería y de la corrosión de tuberías. El hierro (Fe^{2+}), no genera ningún cambio físico ya que mantiene el agua clara e incolora; sin embargo, el hierro

(Fe^{3+}) al ser insoluble en el agua ocasiona la turbidez y precipitados de color marrón rojizo. La disolución del hierro en el agua depende del pH y oxígeno disuelto; ya que, niveles elevados de acidez y oxígeno disuelto originan la disolución de hierro. El hierro es importante en la hemoglobina, la mioglobina y otras enzimas; sin embargo, niveles elevados de hierro en el agua pueden causar enfermedades como la hemocromatosis, conjuntivitis, cáncer, entre otros. Mientras que, la deficiencia de hierro en el cuerpo también puede causar algunas afecciones como anemia, fatiga y la susceptibilidad a diversas infecciones (Khatri et al., 2017).

n. Aluminio

El aluminio (Al) es un elemento metálico que constituye el 8 % de la corteza terrestre y, en el agua proviene de dos formas: origen natural y antropogénica (sales de aluminio). Estas sales se utilizan en el tratamiento de aguas para reducir la turbidez, color, microorganismos y el contenido de materia orgánica. Concentraciones superiores a 0.1-0.2 mg/L pueden ocasionar precipitaciones de hidróxido de aluminio en los SAP y en los seres humanos podría causar el Alzheimer (OMS, 2018)

o. Manganeso

El manganeso (Mn) es un elemento de transición que en mayor concentración se encuentra en aguas de naturaleza ácida y específicamente en aguas subterráneas. El Mn en el agua se encuentra como Mn (II) y al contacto con el aire se oxida a Mn (IV) precipitando como MnO_2 (Kouzbou et al., 2017). Cuando está presente en concentraciones superiores a 0.1 mg/L en los SAP puede afectar las propiedades organolépticas del agua de consumo, aunque en bajas concentraciones también pueden causar problemas, como: decoloración, turbidez, acumulación de dióxido de manganeso en las tuberías, entre otros (Cerrato et al., 2010).

Por otro lado, la ingesta de concentraciones elevadas de manganeso pueden afectar las funciones del sistema nerviosos y también causar el síndrome irreversible del manganismo, que se caracteriza por: el dolor muscular, apatía, temblores, disminución del estado mental, entre otros (Alvarez et al., 2013).

p. Cobre

El cobre (Cu) es un oligoelemento esencial para los seres humanos ya que es un cofactor de muchas enzimas, siendo una de ellas la enzima ferroxidasa, además cumple funciones como: la defensa antioxidante, la síntesis de neurolépticos y la función inmunológica. Sin embargo, la ausencia de Cu durante la infancia puede generar un desarrollo deficiente del sistema cardiovascular, malformación ósea y anomalías neurológicas; y la deficiencia prolongada en la edad adulta puede alterar el metabolismo del colesterol (Bost et al., 2016). Mientras que, concentraciones superiores a lo establecido podrían ser perjudiciales para los seres humanos causando daños en el hígado y los riñones, trastornos gastrointestinales y efectos neurotóxicos. Por otro lado, las fuentes de contaminación en el agua provienen de las escorrentías agrícolas, corrosión de las tuberías que contienen cobre y efluentes industriales (Traven et al., 2023).

q. Zinc

El zinc (Zn) es un oligoelemento esencial para las funciones biológicas en los seres humanos, cumple funciones importantes como la actividad enzimática, el funcionamiento del sistema inmunitario y la expresión genética. La ingesta excesiva de este elemento podría afectar el metabolismo de cobre y el hierro y además ocasionar trastornos gastrointestinales (Traven et al., 2023). El Zn en las aguas subterráneas y superficiales proceden de fuentes naturales y antropogénicas (drenajes de minas, desechos industriales y municipales, escorrentías urbanas y específicamente de la erosión de del suelo (Noulas et al., 2018). Además, el zinc en el agua se

puede encontrar como cationes hidratados, complejos metal-inorgánicos o complejos metal-orgánicos. Estos cationes hidratados al ser hidrolizados pueden formar hidróxidos u óxidos de zinc (Singh et al., 2019).

r. Sodio

El sodio (Na) es uno de los elementos más abundante de la naturaleza ya que se encuentra en el suelo, agua, alimentos, etc. En el agua el Na proviene de la intrusión salina, depósitos minerales, efluentes de aguas residuales, tratamiento con productos químicos como: hipoclorito de sodio, bicarbonato de sodio y fluoruro de sodio (OMS, 2003). El sodio en el cuerpo humano desempeña algunas funciones como la regulación del volumen sanguíneo y celular, la conductancia nerviosa, contracción muscular, etc. Aunque, la ingesta elevada o insuficiente de Na puede afectar a la salud de las personas, ya que está asociada a patologías como: la hipertensión, accidente cerebrovascular, cáncer gástrico y síndrome metabólico (Laubitz et al., 2017).

s. Potasio

El potasio (K) es uno de los elementos más abundantes en el cuerpo humano, ya que del total de ingesta de potasio, el 98 % se distribuye en el músculo y solo un 2 % está presente en los líquidos extracelulares (Besouw & Bockenhauer, 2019). La OMS recomienda el consumo diario de potasio mayor a 3000 mg. El potasio en el agua de consumo humano está presente debido al uso de permanganato de potasio como agente oxidante en el tratamiento del agua y por el uso de cloruro de potasio en el ablandamiento del agua. En la actualidad, no existe niveles de potasio recomendamos para el consumo humano ya que no se ha evidenciado niveles altos de potasio en aguas de consumo humano.

t. Cromo

El cromo (Cr) es un oligoelemento que se encuentra en la corteza terrestre, presenta dos estados de oxidación, el Cr (III) esencial para los organismos y el Cr (VI) tóxico para la salud de las personas. Según la OMS, el Cr (VI) debe ser menor a 0.05 mg/L ya que concentraciones superiores causan la carcinogenicidad en los seres humanos; es por ello, que se ha clasificado al Cr (VI), en el grupo 1 de elementos cancerígenos. Las fuentes principales de Cr (VI) en el agua es a través de productos químicos, cuero, textiles, electropintura, entre otros (Sereshti et al., 2016).

u. Calcio

El calcio (Ca) es uno de los elementos más abundantes en el organismo de los seres humanos ya que cumple funciones esqueléticas (huesos y dientes) y no esqueléticas (estructurales y reguladoras). En específico, en el metabolismo intracelular, el crecimiento óseo, coagulación sanguínea, contracción muscular y funciones cardíacas (Martínez, 2016).

El Instituto de Medicina de los Estados Unidos ha establecido valores de 700 a 1200 mg/día para el consumo diario de los niños y adultos respectivamente (Vitoria et al., 2014). Sin embargo, valores altos de Ca podrían generar enfermedades como cálculos renales, infarto miocardio y accidente cerebrovascular, aunque la deficiencia de Ca también podría provocar enfermedades como la osteoporosis y el raquitismo (Pu et al., 2016).

v. Magnesio

El magnesio es el cuarto mineral más abundante en el cuerpo humano ya que es esencial para el material nucleico y la síntesis de proteínas, la conducción neuromuscular, el metabolito energético, entre otros (Al Alawi et al., 2021). El magnesio en el agua está presente como carbonato de magnesio (MgCO_3) y junto con el calcio son los elementos predominantes en la dureza del agua (Pérez, 2014).

w. Bario

El bario (Ba) se encuentra en la naturaleza en las rocas ígneas, sedimentarias y como depósitos de mineral (Whiterita y la Barita). El bario en el agua proviene principalmente de fuentes naturales, aunque también de las emisiones industriales y usos antropogénicos, siendo los compuestos más solubles el nitrato de bario y el cloruro de bario. Sin embargo, la presencia de carbonatos y sulfatos en el agua pueden reaccionar con el bario formando sales insolubles de bario. Por otro lado, La OMS ha establecido un valor máximo de 1.3 mg/L en el agua potable ya que concentraciones superiores al valor mencionado pueden causar la vasoconstricción, peristalsis, convulsiones y parálisis del sistema nervioso central.

x. Níquel

El níquel (Ni) es un metal que se encuentra en la corteza terrestre y se utiliza principalmente en la producción de acero inoxidable. En el agua de consumo humano el níquel procede de las tuberías recubiertos de níquel y generalmente es menor a 0.02 mg/L. En los seres humanos, la absorción de agua con níquel en un estómago vacío es de 10 a 40 veces mayor que la absorción de los alimentos (OMS, 2018). El níquel tiene efectos adversos a la salud de los seres humanos, ya que la exposición subaguda a compuestos de níquel puede generar dermatitis; mientras que, la exposición crónica puede provocar fibrosis pulmonar, enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Denkhaus & Salnikow, 2002). Asimismo, estudios previos han demostrado que, elementos como: níquel, cromo, arsénico, cadmio y berilio son los principales carcinógenos humanos (Laulicht et al., 2015).

y. Plomo

El plomo (Pb) es un metal tóxico que se utiliza para la producción de baterías de plomo ácido, soldadura y en aleaciones. El plomo en el agua de consumo humano puede infiltrarse por la

corrosión interna de tuberías, siendo mayor la disolución en aguas de naturaleza blanda y ácida. Sin embargo, la presencia de cloro libre en el agua tiende a reaccionar con el plomo generando compuestos insolubles. La exposición prolongada al plomo está asociada a enfermedades cardiovasculares, hipertensión, deficiencia de fertilidad y resultados adversos en el embarazo (OMS, 2018).

z. Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Microondas (MP-AES)

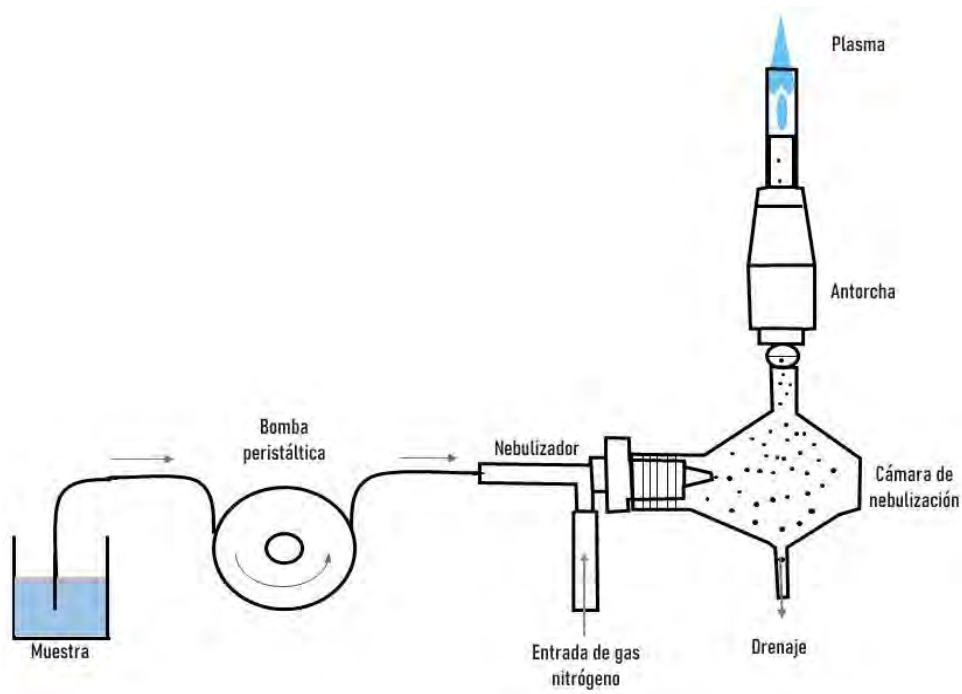
La espectroscopía de emisión atómica por microondas (MP-AES) es una técnica que en los últimos años se ha utilizado para la determinación multielemental en áreas como la geoquímica, ambiental, agrícola, suelos, agua potable, efluentes industriales, aguas residuales, alimentos, salud, bebidas, etc. Los límites de detección (LOD) del MP-AES presentan ventajas significativas en comparación con AAS, debido a que detecta concentraciones más bajas (0.1 - 10 µg/L). Sin embargo, los LOD son comparables con las técnicas de la Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES) y la Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

El MP-AES se basa en la emisión de fotones de energía por parte de los átomos excitados mediante un plasma de nitrógeno el cual es generado y mantenido por microondas a 2.45 GHz. El magnetrón genera ondas microondas que producen un plasma con una temperatura aproximada de 5 000 a 6000 K. La muestra líquida es inyectada mediante una bomba peristáltica que pasa por un nebulizador que genera las microgotas (aerosoles). Estas a su vez pasan a la cámara de nebulización donde se separan por tamaño, permitiendo solo el paso a las microgotas menores o iguales a 10 µm a la antorcha donde se genera el plasma. Los SDT pueden afectar el paso de los aerosoles por las antorchas ya que puede ocasionar algunos problemas como: precipitación, alta viscosidad y acumulación de sales; por ello, es recomendable valores inferiores a 4 % de SDT

(Balaram, 2020). En la figura 3, se muestra el diagrama general de la introducción de muestra en el sistema del MP-AES.

Figura 3

Sistema de introducción de la muestra

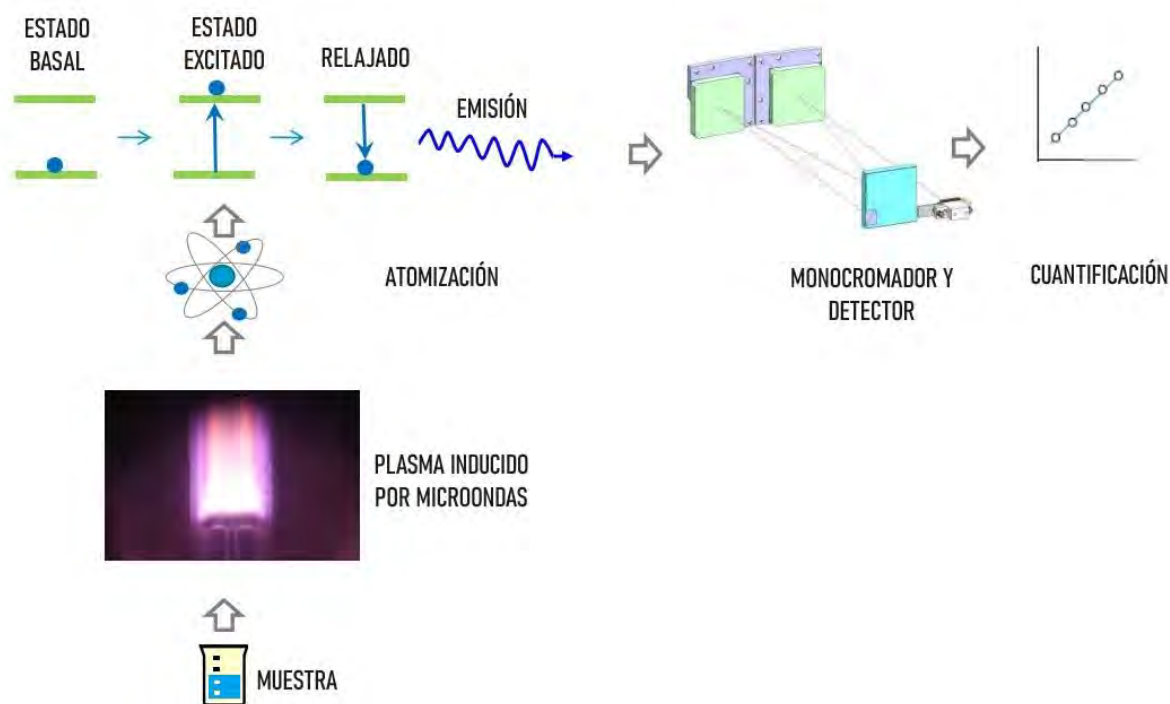


Fuente: (Olesik, 2014)

En el plasma (alta temperatura), las moléculas se disocian casi por completo generando que los átomos pasen de un estado basal a un estado excitado; sin embargo, estos átomos no logran ionizarse y regresan a su estado basal emitiendo las energías absorbidas lo que es característico en cada elemento. La intensidad de radiación emitida se detecta con un dispositivo de carga acoplada (CCD) de estado sólido conectado a una computadora. La figura 4, explica el principio de la MP-AES.

Figura 4

Diagrama general de la Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP-AES)



Fuente: (Balaram, 2020)

1.2.9. Material de Referencia Certificado (MRC)

El material de referencia certificado (MRC) se utiliza para la validación de métodos analíticos, constatar la exactitud de los resultados y el control de calidad de ensayos en laboratorios. El MRC es evaluado por organismos especializados en la normalización técnica y metrología que asigna el permiso de certificación según los procedimientos metrológicamente válidos para la producción y certificación de Material de Referencia (MR) descritos en las normas ISO 34 y 35 (Organización Internacional de Normalización o Estandarización [ISO], 2015).

HIPÓTESIS

Hipótesis General

Los valores de los parámetros fisicoquímicos y la concentración elemental del agua de consumo humano de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) de Soñaqque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko del centro poblado de Santo tomas, provincia de Chumbivilcas, se encuentran dentro de los valores establecidos en los LMP y ECA para agua de consumo humano.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

El diseño de investigación es no experimental, ya que las variables independientes no se han modificado intencionalmente, debido a que el fenómeno observado se verificó en su ámbito natural. El alcance es de tipo correlacional - comparativo porque se ha evaluado más de una variable para explicar la relación que existe entre ellas y comparar los resultados obtenidos en cada una de las JASS evaluadas.

2.2. Variables

2.2.1. Variable Independiente

Calidad del agua potable de la JASS Q'enko, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Soñaqqe.

2.2.2. Variables Dependientes

- Análisis de parámetros fisicoquímicos.
- Análisis de parámetros inorgánicos.

2.3. Materiales

- Papel filtro Whatman grado 5.
- Frascos de polietileno de boca ancha 1 L.
- Frascos estériles de polietileno 100 mL.
- Pipetas automáticas.
- Pipetas graduadas.
- Cubeta de vidrio 25 mL.
- Bureta automática.
- Filtro de jeringa 0.45 μm .

2.4. *Reactivos*

- Ácido nítrico concentrado (HNO_3) 65 %, 1.39 g/cm³, Merck.
- Ácido clorhídrico (HCl) 37 %, 1.19 g/cm³, Merck.
- Material de referencia ERA potableWatR™.
- Estándar multielemental con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de hierro (Fe) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de aluminio (Al) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de cobre (Cu) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de zinc (Zn) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de cromo (Cr) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de plomo (Pb) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de manganeso (Mn) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de calcio (Ca) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de bario (Ba) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.

- Estándar elemental de magnesio (Mg) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de sodio (Na) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de sodio (K) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Estándar elemental de níquel (Ni) con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Solución de calibración de longitud de onda con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Solución blanco de calibración con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent.
- Kit de reactivo SulfaVer 4 method.
- Kit de reactivo TPTZ method.
- Kit de reactivo DPD method.
- Nitrato de plata (AgNO_3), Merck.
- Ácido etilendiaminotetraacético ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$), Merck.
- Buffer 4, 7, 10, Movilab.
- Cloruro de potasio (KCl), Mallinckrod.
- Cloruro de amonio (NH_4Cl), Mallinckrod.
- Hidróxido de amonio (NH_4OH) 27-30 %, May & Backer.
- Negro de Eriocromo T ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{O}_7\text{SNa}$), Nile Chemicals.
- Cromato de potasio (K_2CrO_4), Merck.

- Fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$), Nile Chemicals.
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3), Merck.
- Carbonato de calcio ($CaCO_3$), Merck.
- Anaranjado de metilo ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$), Mallinckrod.
- Cloruro de sodio ($NaCl$), Merck.
- Hidróxido de sodio ($NaOH$), Merck.

2.5. Equipos

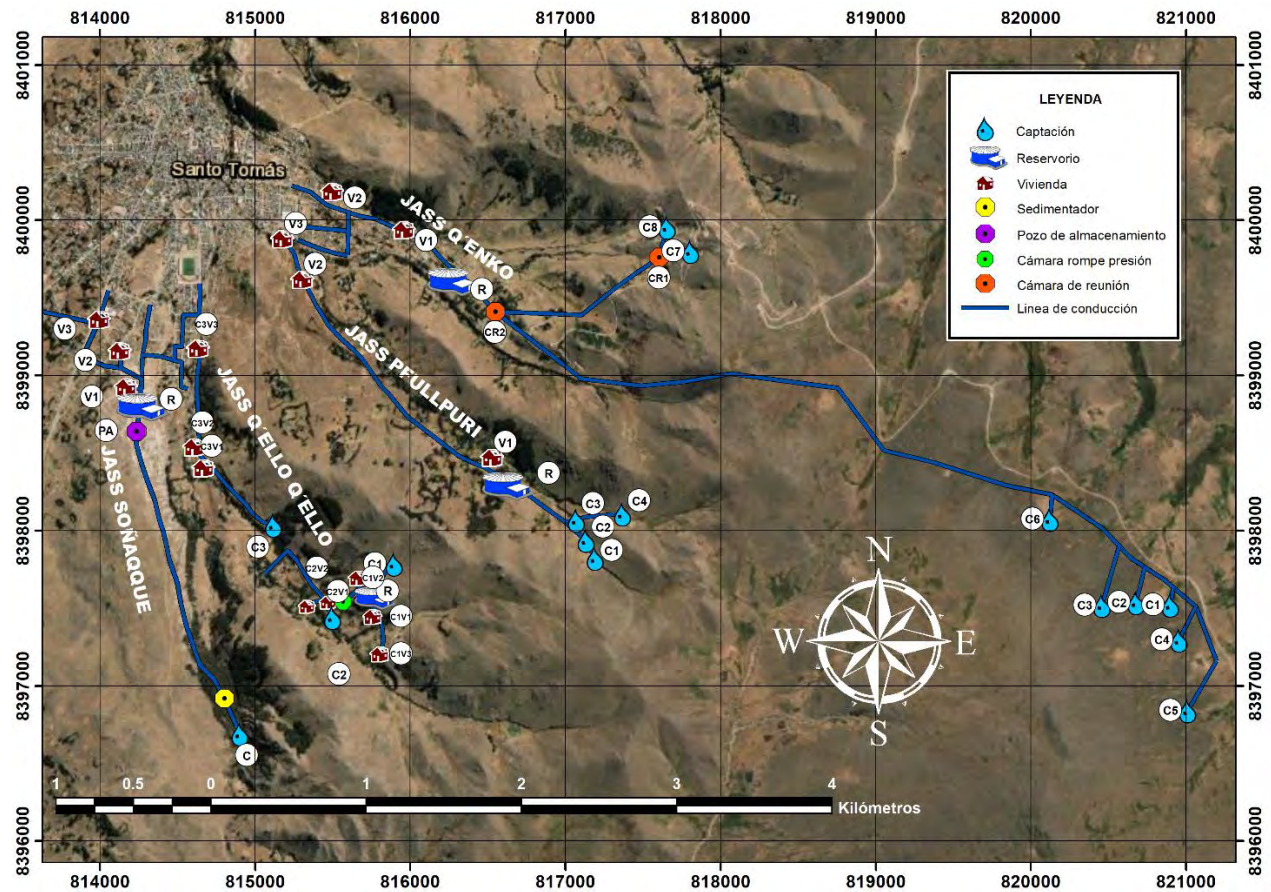
- Espectrómetro de emisión atómica por plasma de microondas Agilent, modelo MP-AES 4210.
- Generador de nitrógeno Peak Scientific, modelo Halo.
- Auto muestreador Agilent, modelo SPS4.
- Colorímetro Hach, modelo DR-900.
- Refrigerador de Laboratorio marca EVERmet modelo BLCRF 370 W.
- Medidor portátil de pH Hanna, modelo HI 9125.
- Medidor portátil de oxígeno disuelto Hanna, modelo HI 98193.
- Sonda de oxígeno disuelto Hanna, modelo HI 764073.
- Electrodo de pH Hanna, modelo HI 1230B.
- Electrodo de platino Hanna, modelo HI 3131.
- Conductivímetro portátil Hanna, modelo HI 9835.
- Sonda de conductividad Hanna, modelo HI 76309.
- Sonda de temperatura Hanna, modelo HI 7662.
- Sistema de purificación de aguas Merck, modelo DirectQ-3V.

2.6. Localización

La zona de estudio está ubicada en el centro poblado y distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas, región Cusco. El centro poblado de Santo Tomás está situado en las coordenadas UTM E: 814682.57 m y N: 8400215.82 m a una altitud de 3 600 m s. n. m aproximadamente y con una población estimada de 12 397 habitantes, según el censo de población y vivienda del 2017 realizado por el INEI. Asimismo, el distrito de Santo Tomás abarca 98 JASS reconocidas bajo resolución en la Municipalidad Provincial de Chumbivilcas (MPCH), siendo periurbanas y urbanas las JASS de Pfullpuri, Q'enko, Q'ello Q'ello y Soñaqque al centro poblado de Santo Tomás. Las JASS de Pfullpuri y Q'enko se encuentran ubicados al sureste y este, respectivamente; mientras que, las JASS Q'ello Q'ello y Soñaqque se encuentran ubicados al sur del centro poblado de Santo Tomás. En la figura 5, se observa la zona de estudio de las 4 JASS ya mencionadas.

Figura 5

Localización de la zona de estudio



2.6.1. JASS Pfullpuri

La JASS Pfullpuri está inscrito en la MPCH con una población total de 95 habitantes aproximadamente, según el último censo realizado por el promotor social de la municipalidad. Esta JASS posee algunos documentos de gestión (estatuto, padrón de asociados, libro de actas de asamblea, recibos de ingresos y egresos, plan operativo anual, libro de control de recaudos, cuaderno de inventario, entre otros) para la buena administración y manejo de dicha entidad; sin embargo, carece de un registro de control para cloro libre residual y equipos de campo.

El recurso hídrico en esta JASS es de tipo subterránea (manantial) con un SAP por gravedad-sin tratamiento la cual comprende 4 captaciones y un reservorio. El cerco perimétrico en

estas captaciones es deficiente ya que solo uno de ellos posee dicho cerco. Se han evidenciado algunos fenómenos geofísicos, geológicos e hidrometeorológicos, tales como: deslizamiento, derrumbe, caída de bloques, sequías, heladas, granizadas y escasez hídrica que podrían afectar la calidad y disponibilidad del agua. El caudal de ingreso al reservorio (caudal de aforo) es de 0.15 L/s. Este caudal es suficiente para suministrar agua a todos los usuarios. Las muestras de estudio (8 muestras) de esta JASS se han recolectado en los SAP durante el mes de agosto del año 2023, en coordenadas y SAP mencionadas en la tabla 5.

Tabla 5

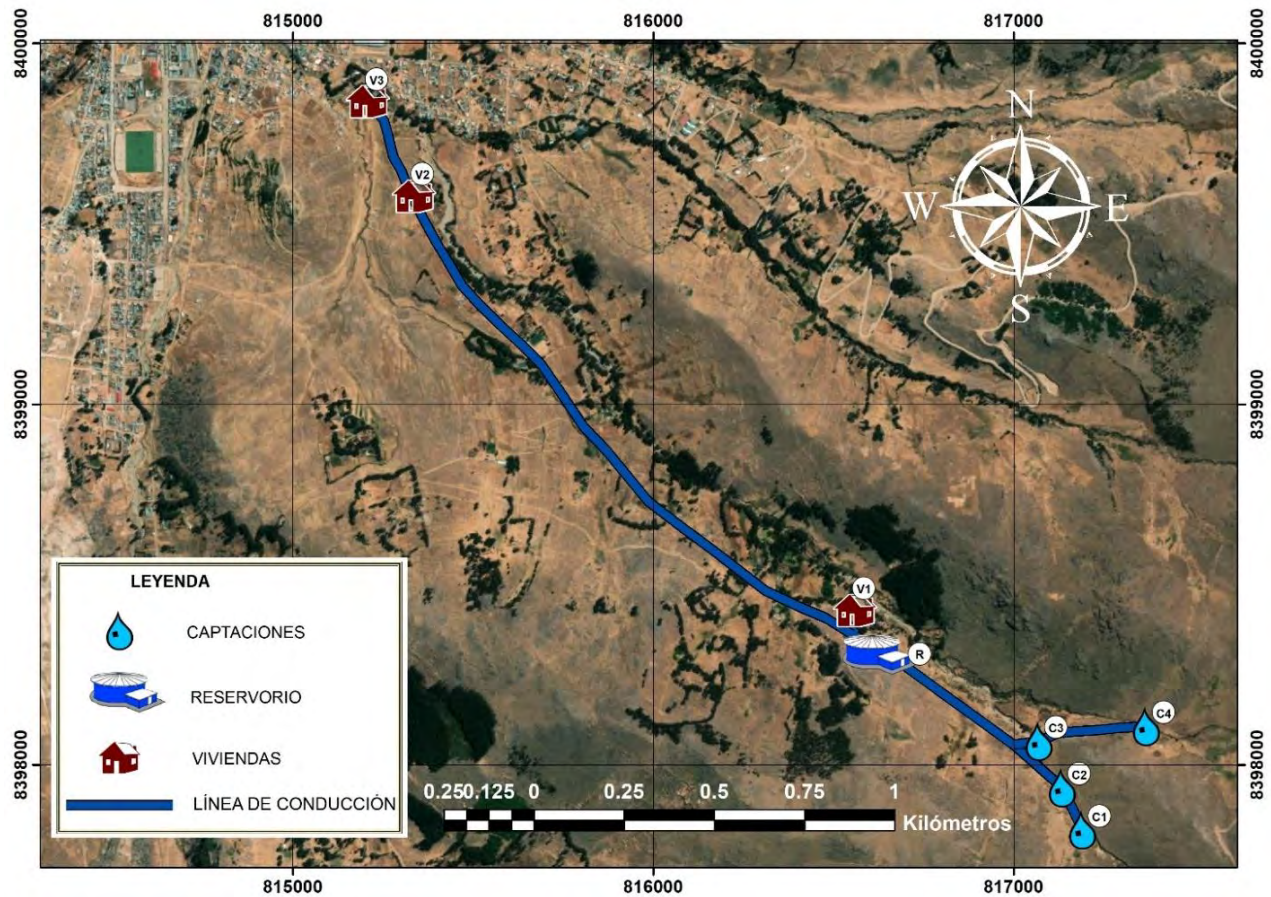
Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la JASS de Pfullpuri

JASS	ID	Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS 1984 Zona 18 L)		Altitud (ms. n. m.)
			Este	Norte	
Pfullpuri	C1	Captación 1	817167.00	8397856.00	4041
	C2	Captación 2	817153.00	8397875.00	4036
	C3	Captación 3	817070.00	8398066.00	3989
	C4	Captación 4	817368.00	8398107.00	4065
	R	Reservorio	816619.97	8398337.07	3916
	V1	Vivienda 1	816582.55	8398363.58	3909
	V2	Vivienda 2	815335.60	8399576.60	3697
	V3	Vivienda 3	815208.74	8399838.75	3676

En la figura 6, se observa los sistemas de agua potable y a su vez los puntos de muestreo de la JASS Pfullpuri.

Figura 6

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS Pfullpuri



2.6.2. JASS Q'enko

La JASS Q'enko está inscrito en la MPCH con una población total de 1 580 habitantes aproximadamente, según el último censo realizado por el promotor social de la municipalidad. Esta JASS al igual que Pfullpuri no cuenta con un registro de control para cloro libre residual y equipos de campo. El recurso hídrico para consumo humano es de tipo subterránea con un SAP por gravedad-sin tratamiento. Esta JASS tiene 8 captaciones y un reservorio debidamente protegidas con cercos perimétricos (alambre de púas y cerco de piedra); sin embargo, 2 de estas captaciones carecen de dicho cerco por tanto están susceptibles a la contaminación por los animales (ovinos, vacunos y equinos) del lugar. Los fenómenos naturales que se han evidenciado son

deslizamiento, sequias, heladas, granizadas y escasez hídrica y; algunas actividades antropogénicas, siendo el de mayor relevancia la quema, la cual podría afectar la calidad del agua para consumo humano. El caudal de aforo es de 2.07 L/s, lo que evidencia el suministro constante de agua potable a los usuarios. El valor de este caudal es suficiente para suministrar agua a todos los usuarios de esta JASS. Las muestras de estudio (15 muestras) de esta JASS se han recolectado en los SAP y algunas viviendas durante el mes de agosto del año 2023. Los datos de georreferenciación de cada punto de muestreo se detallan en la tabla 6.

Tabla 6

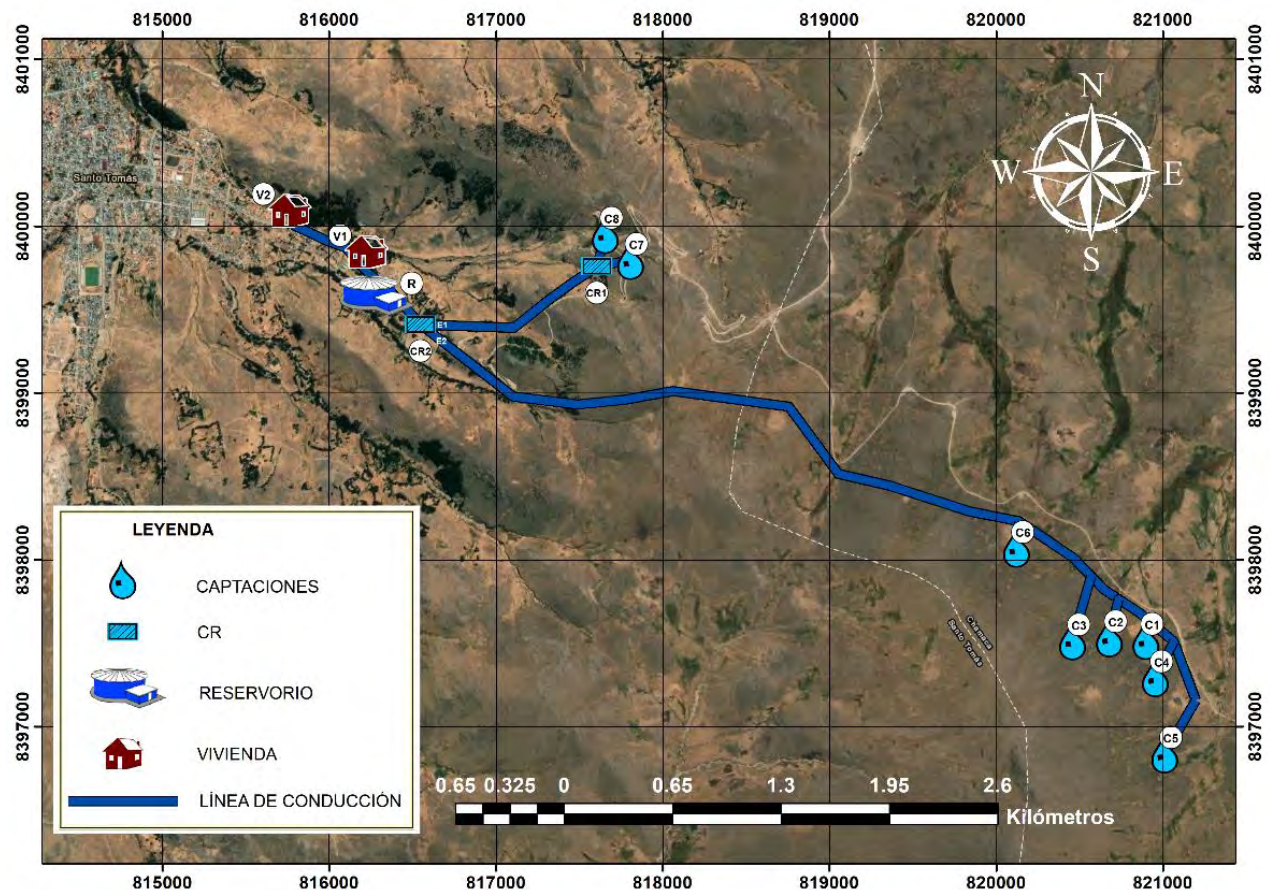
Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la JASS de Q'enko

JASS	ID	Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS 1984 Zona 18 L)		Altitud (ms. n. m.)
			Este	Norte	
Q'enko	C1	Captación 1	820898.00	8397520.00	4311
	C2	Captación 2	820679.00	8397535.00	4354
	C3	Captación 3	820610.00	8397517.00	4326
	C4	Captación 4	820934.00	8397394.00	4312
	C5	Captación 5	821010.00	8396839.00	4328
	C6	Captación 6	820122.00	8398072.00	4298
	E2	Entrada 2	816548.09	8399411.54	3832
	C7	Captación 7	817806.00	8399798.00	4075
	C8	Captación 8	817656.00	8399954.00	4030
	CR1	Cámara de reunión 1	817604.42	8399760.59	4010
	E1	Entrada 1	816548.09	8399411.54	3832
	CR2	Cámara de reunión 2	816548.09	8399411.54	3832
	R	Reservorio	816267.02	8399651.62	3778
	V1	Vivienda 1	816241.00	8399684.00	3770
	V2	Vivienda 2	815813.52	8399990.45	3730

En la figura 7, se observa la ubicación geográfica de los puntos de muestreo y los sistemas de agua potable de la JASS Q'enko.

Figura 7

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS Q'enko



2.6.3. JASS Q'ello Q'ello

La JASS Q'ello Q'ello tiene una población aproximada de 46 habitantes. Esta JASS cuenta con 3 captaciones, 1 reservorio y 1 cámara rompe presión (CRP); de las cuales, solo la captación C1 y el reservorio están debidamente protegidas por cercos perimétricos (malla ganadera y cerco de piedra); mientras que las demás captaciones están en contacto directo con el entorno natural (plantas, animales, fenómenos geofísicos, entre otros). La falta de mantenimiento y limpieza en estas captaciones ha ocasionado el crecimiento de maleza que obstruye el paso del agua y a su vez

deteriora la infraestructura (rajaduras y grietas) y los componentes de la misma. En consecuencia, estos factores podrían afectar la calidad, operatividad y la salud de los usuarios de dicha JASS. El caudal de aforo es de 0.065 L/s. El valor de este caudal es suficiente para suministrar agua a todos los usuarios de esta JASS. En la tabla 7 se observa, las coordenadas de los puntos de muestreo (13 muestras) y los sistemas de agua potable que han sido verificados en compañía del encargado (gasfitero) de dicha entidad.

Tabla 7

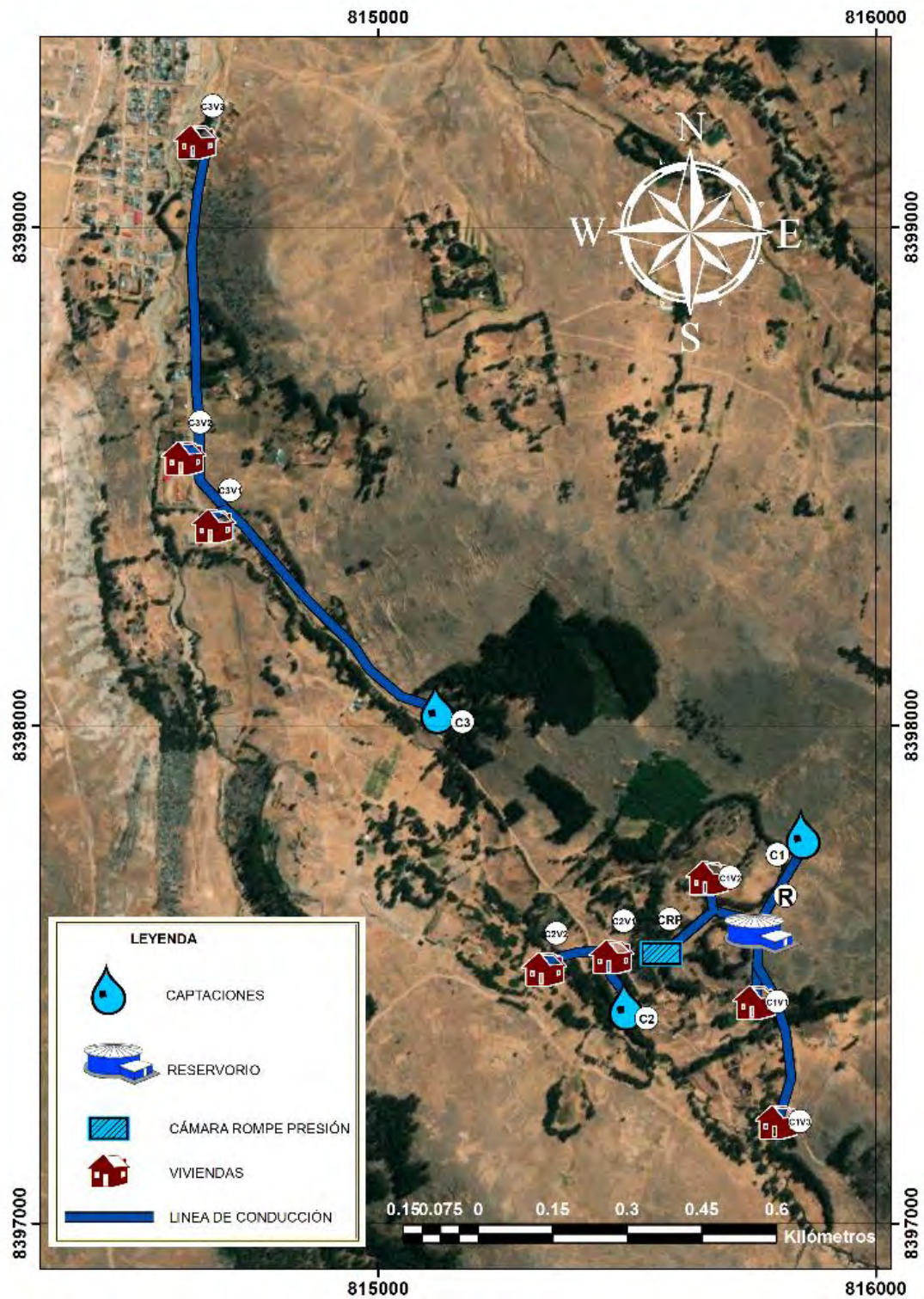
Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la JASS Q'ello Q'ello

JASS	ID	Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS 1984 Zona 18 L)		Altitud (ms. n. m.)
			Este	Norte	
Q'ello Q'ello	C1	Captación 1	815833.51	8397743.71	3903
	R	Reservorio	815761.67	8397622.77	3879
	CRP	Cámara rompe presión	815569.45	8397541.47	3819
	C1V1	Captación 1, vivienda 1	815725.42	8397443.86	3849
	C1V2	Captación 1, vivienda 2	815639.13	8397674.11	3841
	C1V3	Captación 1, vivienda 3	815805.12	8397255.20	3851
	C2	Captación 2	815498.00	8397439.00	3798
	C2V1	Captación 2, vivienda 1	815469.00	8397535.00	3791
	C2V2	Captación 2, vivienda 2	815333.00	8397510.00	3781
	C3	Captación 3	815119.00	8398034.00	3770
	C3V1	Captación 3, vivienda 1	814669.00	8398400.00	3703
	C3V2	Captación 3, vivienda 2	814669.00	8398536.00	3705
	C3V3	Captación 3, vivienda 3	814634.00	8399171.00	3675

La figura 8, muestra la ubicación geográfica de los puntos de muestreo de los sistemas de agua potable de la JASS Q'ello Q'ello.

Figura 8

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS Q'ello Q'ello



2.6.4. JASS Soñaqqe

La JASS Soñaqqe está inscrito en la MPCH con una población total de 1 948 habitantes aproximadamente, según el último censo realizado por el promotor social de la municipalidad y el encargado (gasfitero) de dicha JASS. El recurso hídrico para consumo humano es de tipo superficial con un SAP por gravedad-sin tratamiento. Esta JASS cuenta con una captación, sedimentador, pozo de almacenamiento, planta de tratamiento y un reservorio. Se ha observado que, las estructuras de los SAP están deterioradas, esto puede deberse a que no se ha realizado un mantenimiento correctivo en dicha JASS. Durante el trayecto de la captación al reservorio se ha evidenciado plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), esto podría evidenciar la escasez de este recurso, ya que se estima que un eucalipto absorbe 20 litros de agua por día (Guayubira, 2008). El sedimentador no tiene un cerco perimétrico para la protección de esta infraestructura. La planta de tratamiento estaba inactiva ya que solo lo utilizan en la temporada de lluvia, es por ello que han construido un pozo de almacenamiento que va directamente el agua hacia el reservorio. El caudal de aforo es de 1.19 L/s; sin embargo, este caudal no es suficiente para abastecer a todos los habitantes de dicho sector. Por ello, esta JASS racionaliza el suministro de agua potable. En la tabla 8, se muestran los 7 puntos de muestreo y la georreferenciación en coordenadas UTM.

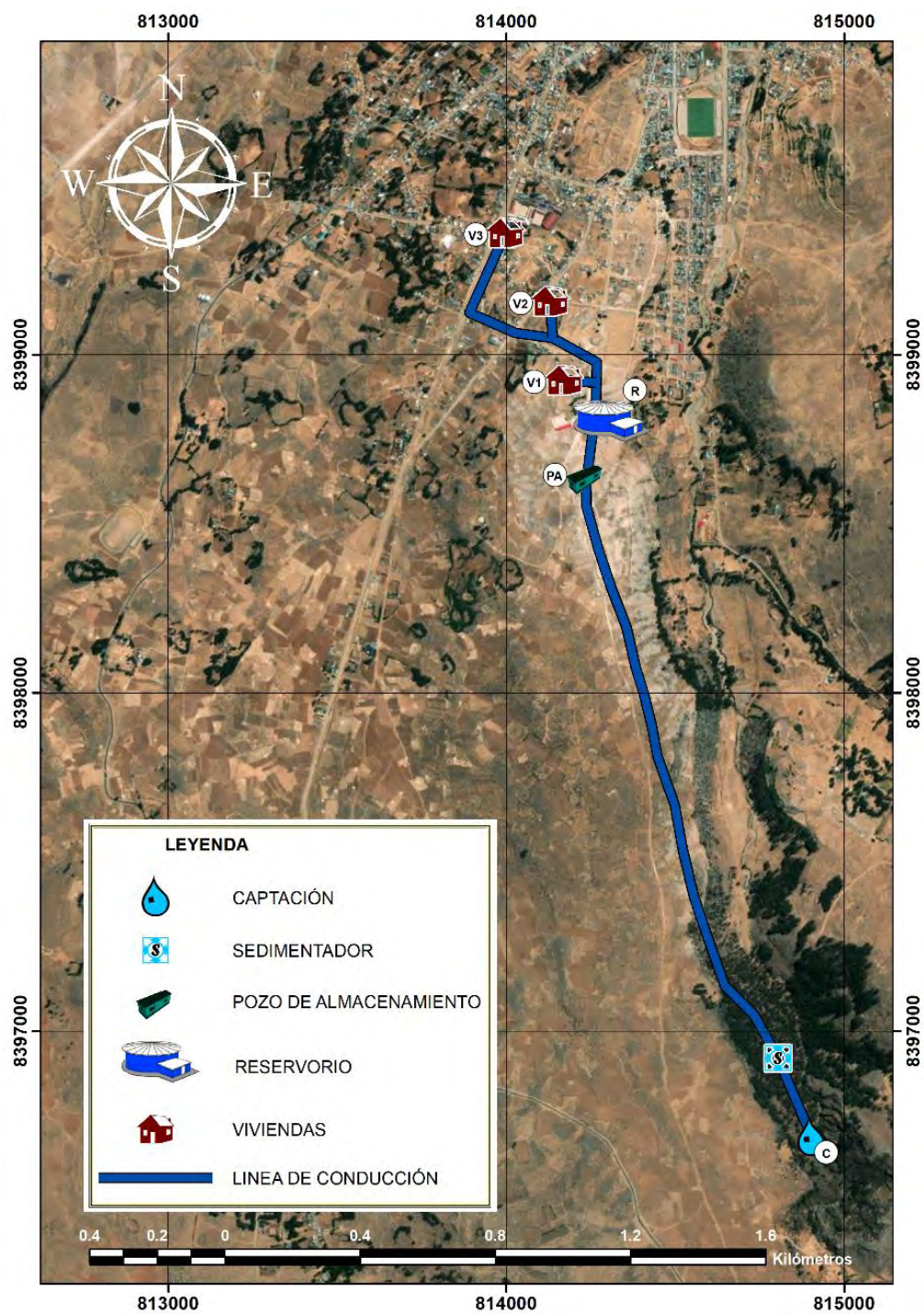
Tabla 8*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la JASS de Soñaque*

JASS	ID	Punto de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud (ms. n. m.)
			(WGS 1984 Zona 18 L)		
			Este	Norte	
Soñaque	C	Captación riachuelo	814902.00	8396691.00	3823
	S	Sedimentador	814803.43	8396919.86	3788
	PA	Pozo de almacenamiento	814250.17	8398789.42	3730
	R	Reservorio	814264.69	8398843.32	3724
	V1	Vivienda 1	814170.12	8398923.32	3717
	V2	Vivienda 2	814129.43	8399156.45	3700
	V3	Vivienda 3	813997.14	8399358.58	3691

En la figura 9, se muestra el mapa donde están ubicados los puntos de muestreo de la JASS Soñaque.

Figura 9

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la JASS soñaque



2.7. Preparación de Materiales y Reactivos

Los frascos de polietileno de 1 000 mL y 100 mL se han lavado con agua ultra pura tipo milliQ y han sido esterilizados con una solución al 5 % de HNO_3 , de acuerdo a las recomendaciones descritas en el libro de “Análisis del Agua” de Jean Rodier.

Los reactivos para la determinación de alcalinidad, acidez, cloruros y dureza se han preparado días antes del muestreo, con el objetivo de optimizar el tiempo de análisis, evitar la degradación de muestras y que estos resultados tengan un alto nivel de confiabilidad.

2.8. Muestreo

El muestreo se ha realizado en los sistemas de agua potable (captación, sedimentador, pozo de almacenamiento, reservorio, cámara de reunión, cámara rompe presión y viviendas) de las 4 JASS ya mencionadas, de acuerdo con el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales descrito por el ANA. Para dicho muestreo se ha utilizado la indumentaria adecuada y el equipo de protección personal (EPP), tales como: guantes desechables, casco, barbijo, gorra, zapatos de seguridad, etc. Asimismo, se ha llevado un botiquín de primeros auxilios para atender cualquier inconveniente durante el trabajo de campo. En las captaciones, las mediciones de los parámetros de campo se han realizado directamente en el cuerpo de agua, mientras que en los demás puntos de muestreo se han medido utilizando un balde transparente, previamente enjuagado y limpio.

Cada muestra se ha etiquetado acorde a la información presentada en la figura 10.

Figura 10

Etiqueta de frascos

NOMBRE DE LA JASS		HORA
NOMBRE O CÓDIGO DE MUESTRA		
SAP		
FECHA		
RESPONSABLE	ROY ZELAYA MENDOZA	

Los parámetros de campo como temperatura, pH, CE, SDT, ORP, OD, turbidez, cloro total, cloro libre residual, sulfatos, hierro ferroso y hierro total, se han determinado *in situ*; mientras que los parámetros como alcalinidad, dureza, acidez y metales se han analizado en el Laboratorio Institucional de Investigación, Análisis Geoquímico Ambiental (AGA)-UNSAAC. Se ha registrado en la “cadena de custodia” los siguientes datos: fecha, hora, georreferenciación, parámetros analizados y observaciones del lugar de muestreo.

Para la determinación de cloruros, acidez, dureza y alcalinidad se han recolectado en frascos de 1000 mL, en cambio para el análisis elemental se han recolectado en frascos de 100 mL. Antes de tomar la muestra, los frascos de polietileno se han enjuagado 3 veces con el agua en estudio, se ha sumergido el frasco y se tapó dentro del agua para evitar el contacto con el aire (Sarmiento, 2007). Posteriormente las muestras se almacenaron en una caja de refrigeración a 4 °C y fueron transportadas al laboratorio institucional de investigación (AGA)-UNSAAC, para su posterior análisis. En la tabla 9 se describen los parámetros que se han determinado en este trabajo de investigación.

Tabla 9*Parámetros que se han determinado en las muestras de agua*

AGUA			
Nº	SUPERFICIAL Y MANANTIAL	Nº	SUPERFICIAL Y MANANTIAL
1	Turbidez	16	Oxígeno disuelto
2	ORP	17	Magnesio
3	Temperatura	18	Aluminio
4	pH	19	Cobre
5	Conductividad eléctrica	20	Zinc
6	Sólidos totales disueltos	21	Sodio
7	Cloruros	22	Potasio
8	Dureza total	23	Manganeso
9	Alcalinidad	24	Calcio
10	Acidez	25	Plomo
11	Sulfato	26	Cromo
12	Cloro libre	27	Magnesio
13	Cloro total	28	Níquel
14	Hierro ferroso	29	Bario
15	Hierro total		

2.9. Medición de Temperatura, pH y ORP

La medición de temperatura, pH y ORP se han determinado *in situ* utilizando un potenciómetro portátil de la marca Hanna, modelo HI 9125. Este instrumento cuenta con una sonda HI 7662, electrodo de vidrio modelo HI 1230B y un electrodo de platino HI 3131 para las mediciones respectivas de temperatura, pH y ORP. El electrodo de pH fue calibrado con una solución tampón estándar a pH 4.01, 7.00 y 10.00; mientras que el electrodo de ORP viene calibrado por el fabricante (Hanna). Para la medición de pH se ha introducido el electrodo HI 1230B a 4 cm de la muestra de agua, se agitó suavemente y se esperó a que la lectura se estabilice; posteriormente, se cambió con el electrodo HI 3131 para la medición de ORP. Una vez realizada la determinación, estos electrodos se enjuagaron con agua desionizada y se almacenaron en una solución HI 70300.

2.10. Medición de Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales

La medición de conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT) se han realizado *in situ* en un conductivímetro portátil (Hanna instruments, modelo HI 9835). Este equipo cuenta con una sonda de conductividad eléctrica HI 76309, la cual fue calibrado con una solución de KCl 0.01N (1 413 μ S). Para la medición de CE se ha introducido la sonda (4 cm) en la muestra de agua hasta cubrir los orificios del capuchón, se agitó suavemente y se esperó a que la lectura se estabilice. Seguidamente, para la medición de SDT se ha presionado la tecla “range” para cambiar en la pantalla LCD el rango de SDT.

2.11. Medición de Turbidez

La medición de turbidez se ha realizado *in situ* en un colorímetro portátil modelo “DR-900” de la marca Hach. Para dicha medición se han utilizado dos cubetas de vidrio del equipo. En la primera cubeta se adicionó 10 mL de agua ultrapura denominado “blanco” y en el otro 10 mL de muestra. En el equipo, se ha seleccionado el programa “745 Turbidez”, seguidamente se colocó la cubeta de la solución blanco para la calibración, posteriormente se colocó la cubeta de muestra de agua y se finalizó con la lectura. Esta medición se realizó de la misma manera para todas las muestras de agua.

2.12. Medición de Cloro Libre y Cloro Total

La medición de cloro libre y cloro total se han realizado *in situ* en un colorímetro de la marca Hach modelo DR-900 a una longitud de onda de 520 nm. La medición del cloro libre y cloro total se basa en los métodos modificados 8021 y 8167 de la US-EPA 4500-Cl DPD Method, respectivamente. Para la medición de cloro libre en una muestra de agua, se ha utilizado 2 cubetas del equipo, las cuales se han enjuagado y llenado con 10 mL de muestra. Se adicionó un kit de reactivo “DPD free chlorine” a uno de las cubetas; mientras que, la otra cubeta se mantuvo con la

muestra (blanco). Finalmente, se colocó en el compartimiento del equipo y se esperó a que la lectura se estabilice. Por otro lado, la medición de cloro total se ha realizado de la misma manera, empleándose un kit de reactivo “DPD total chlorine”. En la figura 11 y 12, se observa la reacción de oxidación del N,N-Dietil-P-fenilenodiamina (DPD) en la determinación de cloro libre y cloro total.

Figura 11

Reacción de oxidación de la N,N-Dietil-P-fenilenodiamina para la determinación de cloro libre

Reacción química del DPD con cloro libre

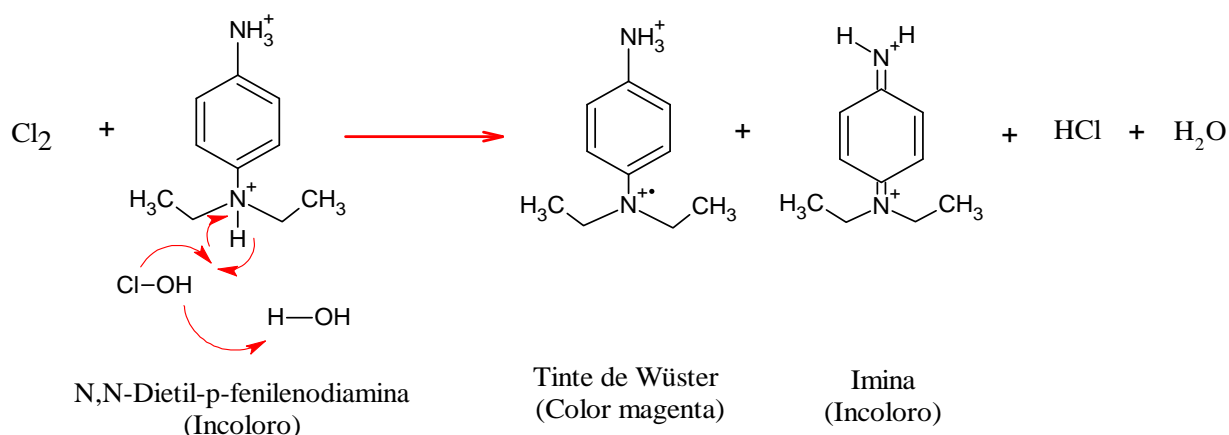


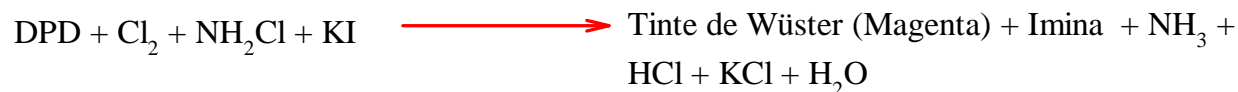
Figura 12

Reacción de oxidación N,N-Dietil-P-fenilenodiamina para la determinación de cloro total

Reacción química del DPD con cloro combinado



Reacción química del DPD con cloro total



2.13. Determinación de Sulfato

La determinación de sulfato se ha realizado *in situ* en un colorímetro (Hach DR-900), a una longitud de onda de 520 nm, mediante un método adaptado de la US-EPA denominado “Sulfaver 4 Method”. Para la determinación de sulfato se han utilizado 2 cubetas del equipo, a las dos cubetas se añadió 10 mL de muestra, siendo la primera cubeta (blanco); mientras que a la segunda cubeta se adicionó un kit de reactivo Sulfaver, a la cual se esperó durante 5 minutos. El equipo posee un compartimiento para colocar las cubetas, donde se ha introducido inicialmente el blanco para la calibración, posteriormente se ha colocado la muestra de estudio y finalmente se esperó a que la lectura se estabilice. En la figura 13 se observa la reacción química mediante el método SulfaVer 4, el cual se basa en la formación de un precipitado de sulfato de bario (BaSO_4). Este precipitado genera una turbidez cuya intensidad es proporcional a la concentración de sulfato de la muestra.

Figura 13

Reacción de sulfatos, método SulfaVer 4



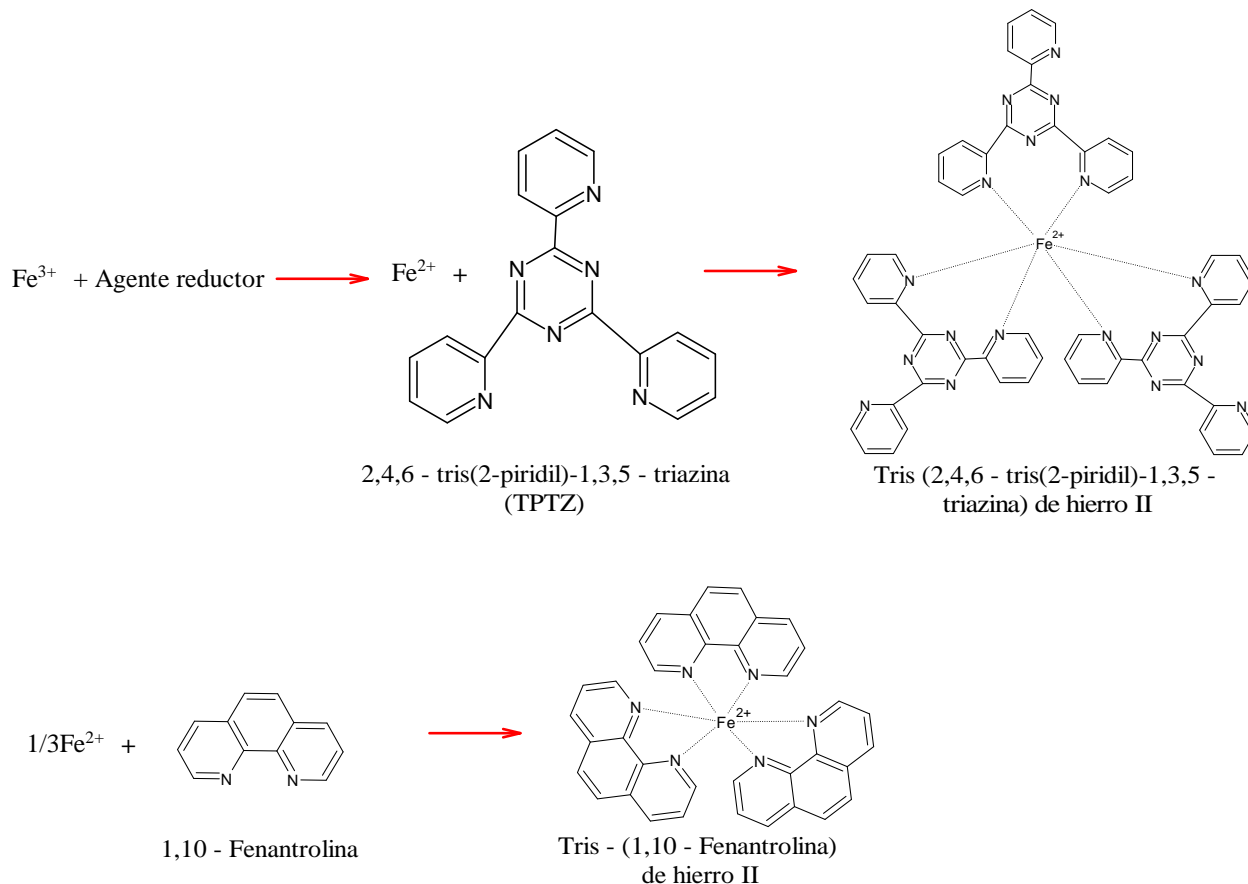
2.14. Determinación de Hierro Total y Hierro Ferroso

La determinación de hierro total y hierro ferroso (Fe^{2+}) se han realizado *in situ* en un colorímetro (Hach, modelo DR-900) con un método adaptado por Hach “8112 TPTZ” (610 nm) y “8146 1, 10– fenantrolina” (520 nm), respectivamente. Para la determinación de hierro total, se han utilizado 2 cubetas, a la primera cubeta denominada “blanco” se añadió 10 mL de agua desionizada y en la segunda cubeta se añadió 10 mL de muestra adicionando un kit de reactivo “2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ) Iron”, se colocó en el compartimiento y finalmente se esperó a que la lectura se estabilice. Mientras que, Para la determinación de hierro ferroso, se utilizó de la misma manera 2 cubetas del equipo, a los que se añadieron 10 mL de muestra de agua

y a una de ellas se agregó un kit de reactivo “Ferrous Iron”. Se calibró el equipo con la cubeta al que no se le añadió el kit de reactivo y finalmente se realizó la lectura. En la figura 14, se observa la reacción del Fe^{2+} mediante el método de 1, 10 fenantrolina.

Figura 14

Determinación de Fe^{3+} y Fe^{2+} , método TPTZ iron y 1, 10 fenantrolina, respectivamente



2.15. Medición de Oxígeno Disuelto

El contenido de oxígeno disuelto se ha medido en un oxímetro portátil (Hanna, modelo HI 98193). Este equipo utiliza una sonda de oxígeno disuelto HI 764073 previamente calibrado con una solución cero oxígeno HI 7040. Para la medición de OD se ha sumergido la sonda en una muestra de agua y se esperó a que la lectura se estabilice.

2.16. Determinación de Cloruros, Dureza Total, Alcalinidad y Acidez

La determinación de cloruros, dureza total, alcalinidad y acidez se han realizado de acuerdo a los métodos de la guía “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. Para la determinación de estos parámetros se ha empleado el procedimiento de valoración, utilizando una solución titulante estandarizada, un indicador para observar el cambio de viraje y la muestra de agua como analito.

2.16.1. Preparación de Muestra

La muestra se ha preparado de la siguiente manera: se ha filtrado 700 mL de cada muestra con el objetivo de eliminar la materia orgánica y las partículas suspendidas, seguidamente se han tomado las alícuotas correspondientes para cada parámetro a determinar.

2.16.2. Cloruros

La determinación de cloruros se ha realizado por el método Mohr “4500-Cl⁻ B”. Se ha tomado una alícuota de 50 mL en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, a la cual se añadió 5 gotas de K₂CrO₄ al 5 %. La muestra se ha valorado con una solución estándar de AgNO₃ 0.0146 N hasta la aparición de un color rojo ladrillo, previamente realizado el blanco con agua ultrapura. En la figura 15, se observa las reacciones químicas que ocurren durante la titulación.

Figura 15

Formación del cromato de plata, método Mohr

Durante la titulación



En el punto final (sin Cl⁻)



La valoración se realizó por triplicado, se anotó el volumen gastado y se determinó los resultados mediante la ecuación 1:

Ecuación 1

Fórmula para la determinación de la concentración de cloruro

$$C_{ppm} = \frac{Vg(AgNO_3) * C_{AgNO_3} * eq - g Cl^- * 1\,000}{Va} = X\,mg/L$$

Donde:

C_{ppm} = Concentración de la muestra

Vg = Volumen gastado de $AgNO_3$

C_{AgNO_3} = Concentración de $AgNO_3$

Va = Volumen alícuota de muestra

Estandarización de la solución de $AgNO_3$ 0.0146 N

La estandarización de $AgNO_3$ 0.0146 N se ha realizado empleando un estándar primario ($NaCl$ 0.0146 N). Para dicha valoración se tomaron 3 alícuotas de 20 mL de $NaCl$, empleando K_2CrO_4 al 5 % como indicador.

2.16.3. Dureza Total

La determinación de dureza total se ha realizado por el método volumétrico “2340 C”. Para ello, se ha tomado una alícuota de 50 mL en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, a la cual se añadió 10 gotas de una solución buffer de pH 10 y una pizca de Negro de Eriocromo T (NET), formándose un color rojo vino. La muestra se ha valorado con una solución de EDTA 0.01 N previamente estandarizada hasta la aparición de un color azul. Esta coloración es característico del complejo EDTA con los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , tal como se observa en la figura 16.

Figura 16

Formación del complejo EDTA con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , método volumétrico



La valoración se ha realizado por triplicado, se anotó el volumen gastado y se determinó los resultados mediante la siguiente ecuación 2:

Ecuación 2

Fórmula para la determinación de dureza

$$C_{ppm} = \frac{Vg(EDTA) * C_{EDTA} * eq - g \text{CaCO}_3 * 1000}{Va} = X \text{ mg/L}$$

Donde:

C_{ppm} = Concentración de la muestra

Vg = Volumen gastado de EDTA

C_{EDTA} = Concentración de EDTA

Va = Volumen alícuota de muestra

Estandarización de la solución de EDTA 0.01 N

La estandarización de EDTA 0.01N se ha realizado empleando un estándar primario (CaCO_3 0.01 N). Para dicha valoración se han tomado 3 alícuotas de CaCO_3 0.01 N (10 mL), empleando negro de eriocromo T como indicador a pH 10.

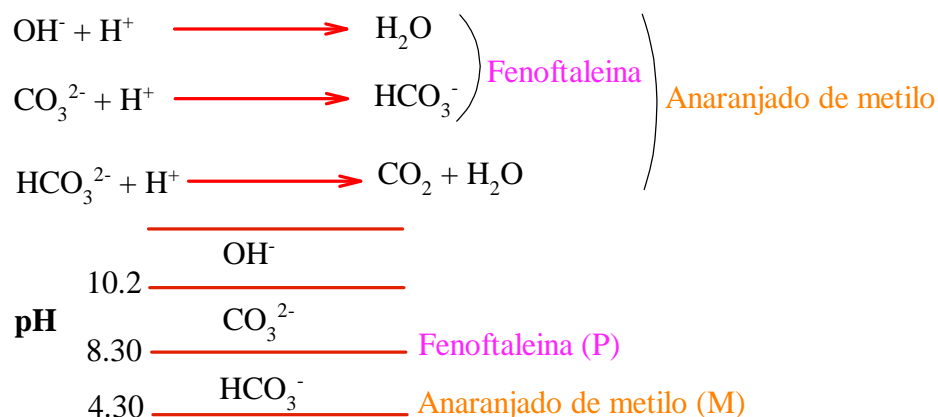
2.16.4. Alcalinidad

La determinación de alcalinidad se ha realizado de acuerdo con el método “2320 alcalinidad”, Para ello, se ha tomado una alícuota de 50 mL del agua analizar en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, a la cual se añadió 3 gotas del indicador naranja de metilo. La muestra se

ha valorado con una solución de HCl 0.0195 N (previamente estandarizada) hasta la desaparición del color amarillo y la aparición del color naranja propio del viraje a pH 4.3. Cabe mencionar que, las muestras se han realizado por triplicado. En la figura 17, se observa las reacciones químicas según el pH en la determinación de alcalinidad.

Figura 17

Reacciones químicas involucradas en la determinación de alcalinidad



Se ha registrado el volumen gastado para describir los resultados expresado en mg/L CaCO₃ (ecuación 3).

Ecuación 3

Fórmula para la determinación de alcalinidad

$$C_{ppm} = \frac{Vg(HCl) * C_{HCl} * \text{eq} - g \text{ CaCO}_3 * 1\,000}{Va} = X \text{ mg/L}$$

Donde:

C_{ppm} = Concentración de la muestra

Vg = Volumen gastado de HCl

C_{HCl} = Concentración de HCl

Va = Volumen alícuota de muestra

Estandarización de la solución de HCl 0.0195 N

La estandarización de HCl se ha realizado empleando un estándar primario (Na_2CO_3 0.02 N), la cual se ha valorado con una solución de HCl 0.02 N con anaranjado de metilo 0.05 % como indicador. Para dicha valoración se han tomado 3 alícuotas de Na_2CO_3 0.02 N (10 mL), obteniéndose una concentración de HCl 0.0195 N.

2.16.5. Acidez

La determinación de acidez se ha realizado empleando el método 2310 acidez. Primero, se ha tomado 50 mL de muestra (alícuota) en un matraz Erlenmeyer de 250 mL; posteriormente, a esta alícuota se agregó 3 gotas de fenolftaleína al 0.5 %. La muestra se ha valorado con una solución de NaOH 0.1148 N (previamente estandarizada con HCl 0.0195 N) hasta la aparición de un color rosa propio del viraje a pH = 8.3. En la figura 18, se observa las reacciones químicas que ocurren en dicha titulación.

Figura 18

Reacciones de neutralización en la titulación de acidez



Se ha registrado el volumen gastado para describir los resultados expresado como mg/L de CaCO_3 (ecuación 4).

Ecuación 4

Fórmula para la determinación acidez

$$C_{ppm} = \frac{Vg(\text{NaOH}) * C_{\text{NaOH}} * \text{eq} - g \text{ CaCO}_3 * 1\,000}{Va} = X \text{ mg/L}$$

Donde:

C_{ppm} = Concentración de la muestra

V_g = Volumen gastado de NaOH

C_{NaOH} = Concentración de NaOH

V_a = Volumen alícuota de muestra

Estandarización de la solución de NaOH 0.01148 N

La estandarización de NaOH se ha realizado empleando como patrón HCl 0.0195 N previamente estandarizada. Para la valoración se ha utilizado fenolftaleína al 0.5 % como indicador. Se titularon tres alícuotas de 5 mL de HCl 0.01951 N con la solución de NaOH preparada (0.01 N), obteniéndose como resultado una concentración de NaOH de 0.01148 N.

2.17. Análisis Elemental

Calibración del MP-AES y preparación de las curvas de calibración

Para la calibración del MP-AES y preparación de las curvas de calibración se han empleado una solución blanco de calibración, al 5 % de HNO_3 , estándares monoelementales certificados para Pb, Zn, Al, Ba, Ni, Mn, Cu, Fe y Cr, estándares multielementales certificados (Ca, Na, K y Mg) fabricados bajo la ISO/IEC 17025 y registrados bajo ISO 9001 por Agilent, así como un Material de Referencia Certificado (MRC) “ERA a Waters Company” de matriz de agua potable utilizada para verificar la confiabilidad del método analítico.

La curva de calibración se ha elaborado a partir de los estándares certificados monoelementales y multielementales, los cuales contenían una concentración conocida (solución madre) 1000 $\mu\text{g/mL}$ del elemento en HNO_3 al 5 %. A partir de estas soluciones madre se han preparado las concentraciones requeridas para la construcción de la curva de calibración. La calibración del equipo se empezó con la medición de la solución blanco de calibración, seguido de los estándares preparados, utilizando el Software “MP-Expert”. En este software se ha verificado

la linealidad y la selección de las longitudes de onda para cada elemento tomando en consideración la intensidad y la menor interferencia espectral. En el anexo 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 se describen las curvas de calibración para cada elemento. Asimismo, en la tabla 10 se detallan las longitudes de onda seleccionadas para el análisis de cada elemento.

Tabla 10

Elementos y longitudes de onda utilizadas en el análisis elemental mediante MP-AES

Elemento	Longitud de onda (nm)
Cu	324.754
Pb	405.781
Al	396.152
Zn	481.053
Cr	425.433
Fe	371.993
Ca	393.366
Na	588.995
K	766.491
Mg	279.553
Ba	455.403
Ni	352.454
Mn	403.076

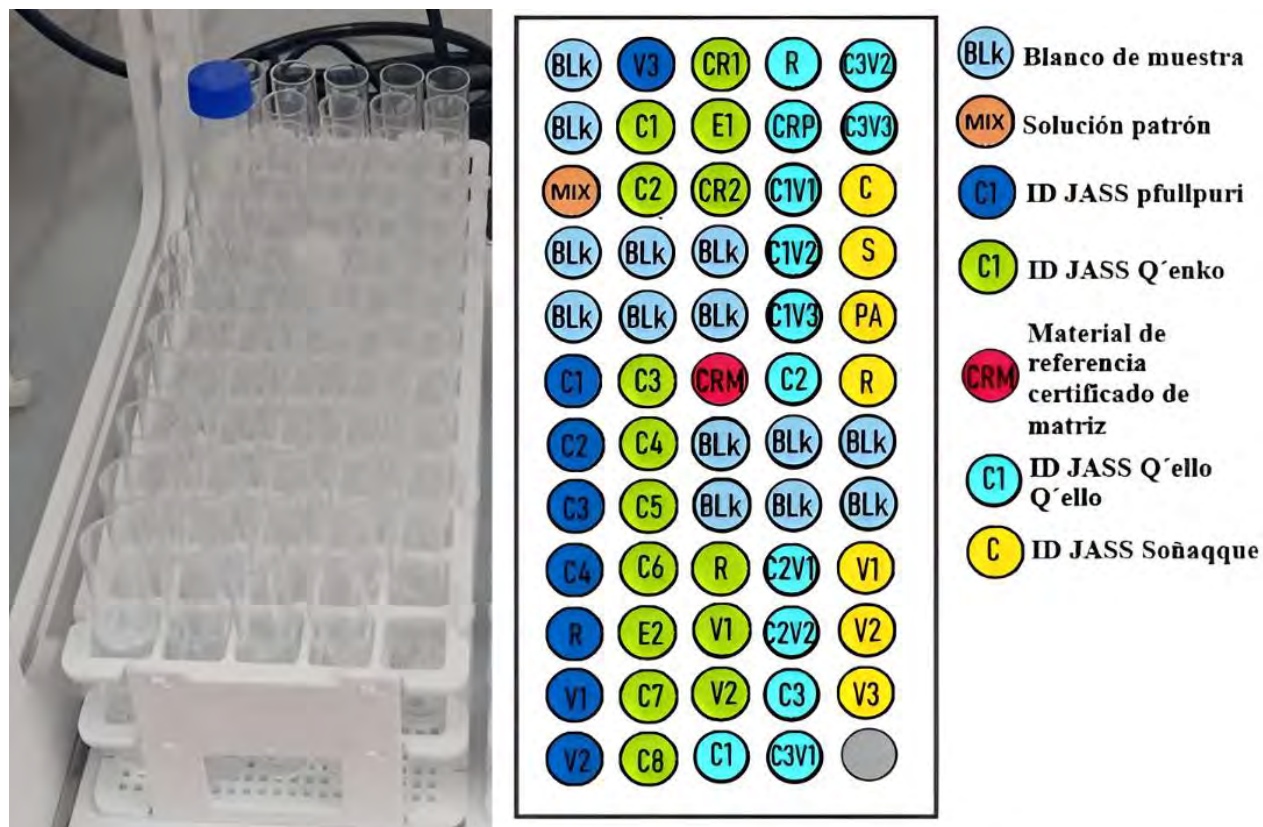
Preparación de muestra

Las muestras de agua se han filtrado (aproximadamente 10 mL) en tubos de ensayo, empleando filtros de jeringa de nylon de 0.45 μm . Este tipo de filtro permitió eliminar impurezas, sólidos suspendidos, coloides y material orgánico presentes en el agua, evitando interferencias en

el análisis y la obstrucción del nebulizador del equipo. Asimismo, el uso del filtrado ha permitido determinar la fracción disuelta de metales, debido a que esta fracción tiene un especial interés por su biodisponibilidad y la movilidad. Posteriormente, los tubos de ensayo fueron colocadas en una gradilla con capacidad para 60 unidades y transportadas al “Autosampler” para su respectivo análisis elemental. En la figura 19, se observa las posiciones de cada muestra y los ID de cada JASS. El “BLK” representa al tubo de ensayo con agua ultrapura miliQ. El “MIX” es una solución patrón con todos los elementos con concentración conocida. El color azul representa los puntos de muestreo de la JASS Pfullpuri. El color verde representa los puntos de muestreo de la JASS Q’enko. El “CRM” de color rojo es el material de referencia certificado de matriz para agua de consumo humano, el cual fue analizado de manera conjunta con las muestras de agua, los resultados obtenidos se encuentran en el anexo 22. El color turquesa representa a los puntos de muestreo de la JASS Q’ello Q’ello. Finalmente, el color amarillo representa a los puntos de muestreo de la JASS Soñaqqe.

Figura 19

Posición de las muestras a determinar con su respectivo ID



Fuente: Elaboración propia

Una vez colocada la gradilla con las muestras en el Autosampler, el espectrómetro de emisión atómica por plasma de microondas de la marca Agilent, modelo MP-AES 4210, fue operado mediante el software MP Expert, en el cual se establecieron las condiciones instrumentales para el análisis, tal como se observa en la tabla 11.

Tabla 11*Condiciones instrumentales*

Condiciones	Valores
Modo de observación	Axial
Replicas	3
Velocidad de bomba (rpm)	12
Tiempo de aspiración (s)	65
Tiempo de enjuague (s)	75
Tiempo de estabilización (s)	25
Número de píxeles	3
Flujo de nebulizador (L/min)	0.95

Fuente: Elaboración propia

Configuradas las condiciones instrumentales, en el equipo, la muestra líquida previamente filtrada desde el autosampler, es transportada mediante una bomba peristáltica hacia el nebulizador en el que se genera un aerosol. Las partículas con diámetros menores a 10 μm pasan a la antorcha de cuarzo para la desolvatación, atomización y excitación del analito; mientras que las partículas superiores a 10 μm son desechadas. Esta antorcha soporta un plasma de nitrógeno de hasta 5000 K de temperatura, el gas nitrógeno de alta pureza (99.95 %) es proporcionado por un generador de nitrógeno de la marca Peak Scientific modelo Halo. Finalmente, los resultados son verificados en el software “MP Expert”.

Este método analítico inhabilita el uso de gases combustibles como en otras técnicas instrumentales (AAS, ICP-MS, ICP-OES, etc.), disminuyendo los costos en operación y obteniéndose concentraciones a nivel traza (ppb).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de pH

En la figura 20, se observan los resultados obtenidos de la medición de pH *in situ* de las JASS Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko. En todas las JASS, los valores de pH se han encontrado dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el MINSA y de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del MINAM para agua destinada al consumo humano, a excepción de las muestras V3 (6.43) y C2 (6.48) de las JASS Pfullpuri y Q'enko, respectivamente.

En la JASS Soñaque, los valores de pH se han encontrado entre 7.35 a 7.73, presentando un carácter ligeramente alcalino. En la captación “C” el pH presenta un valor inicial de 7.35, mientras que en el sedimentador “S” se observa un incremento ligeramente alcalino, esto puede deberse a la baja aireación del CO₂ del ambiente y a la precipitación de las partículas en suspensión presentes en el agua. Asimismo, el pH aumenta a 7.73 en el pozo de almacenamiento “PA”, lo que podría atribuirse a la interacción con los minerales alcalinos presentes en el pozo de sillar. Sin embargo, en los puntos de muestreo R, V1, V2 y V3 el pH del agua desciende y se mantiene en un rango de 7.53 a 7.56.

En la JASS Q'ello Q'ello, el valor de pH mínimo (6.69) se ha encontrado en la captación C2, mientras que el valor alto (7.71) se encontró en la vivienda C3V3 correspondiente a la captación 3. Además, en las captaciones C1 y C2 se observaron valores similares de pH entre 6.69 a 6.71, respectivamente. La similitud de estos valores de pH podría atribuirse a que ambas captaciones provienen de una misma fuente de agua subterránea, a diferencia de la captación C3 que presenta características hidroquímicas distintas. Asimismo, al pasar por el reservorio aumenta

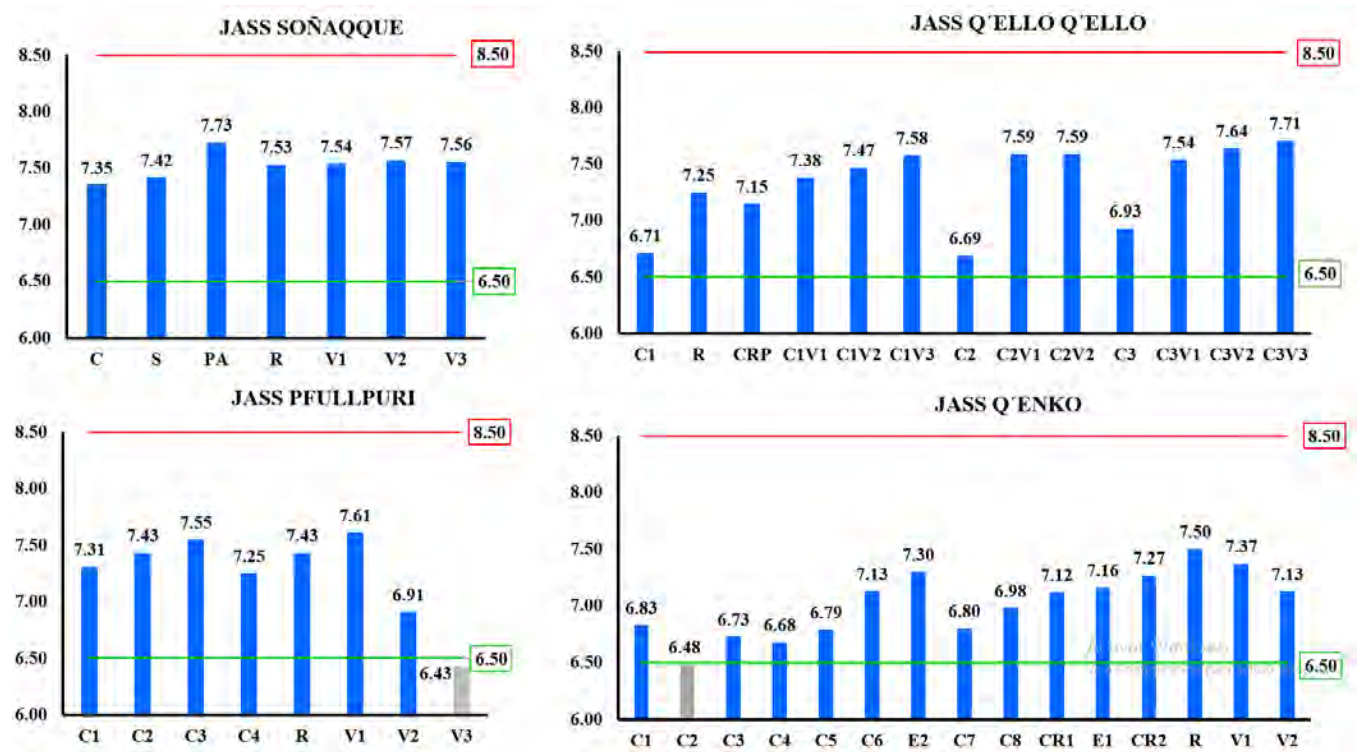
el pH, lo cual podría estar asociado a la pérdida parcial de CO₂; Sin embargo, en la cámara rompe presión (CRP) disminuye el valor de pH, lo que supone al incremento de la aireación y a la turbulencia del agua. Asimismo, en las viviendas, los valores de pH vuelven a incrementarse y estabilizarse en un rango de 7.38 a 7.71.

En la JASS de Pfullpuri, los valores de pH han oscilado entre 6.43 a 7.61. Las captaciones C1, C2 y C3 han obtenido valores ligeramente elevados con respecto a la captación C2, lo cual podría deberse a que esta última no cuenta con una infraestructura de protección, sino únicamente con piedras colocadas por los pobladores de la JASS, siendo expuesto a materia orgánica y al incremento de la aireación. Asimismo, a partir del reservorio el pH disminuye progresivamente de 7.43 a 6.43, lo cual podría explicarse a la presencia de materia orgánica, disolución de CO₂ o a la corrosión de las tuberías.

En la JASS Q'enko, los valores de pH han variado entre 6.48 a 7.50, lo que supone que estas aguas son ligeramente ácidas a neutras. El valor mínimo de pH (6.48) se ha encontrado en la captación C2, posiblemente asociado a la presencia de minerales de sulfuros, cuya oxidación en contacto con agua y oxígeno liberan protones (H⁺), contribuyendo a la disminución del pH. Aunque esta captación “C2” no cumple los ECA, al mezclarse en la cámara de reunión CR1 el agua alcanza los límites máximos permitidos. Los valores de pH de las captaciones al combinarse en E1 o E2 incrementan su valor, que a su vez aumentan el valor de pH en el reservorio. Por otro lado, los valores de pH después del reservorio han ido disminuyendo ya que las viviendas V1 y V2 han obtenido valores de pH de 7.37 y 7.13, respectivamente.

Figura 20

Valores obtenidos de pH en las JASS Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



Se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los valores de pH entre las cuatro JASS evaluadas, con un total de 43 muestras. Los resultados han evidenciado un valor de p-value menor a 0.05, evidenciando que al menos una de las JASS presenta valores de pH significativamente diferente de las demás. Los valores obtenidos en el ANOVA se describen en la tabla 12.

Tabla 12

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el pH

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3.000	4.798	0.006
Dentro de grupos (df)	39.000		
Total	42.000		

El ANOVA no especifica entre que JASS se presentan las diferencias significativas, sino que señala que existe variación general entre las JASS. Por ello, se ha aplicado la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para evaluar la variabilidad en cada par de JASS. En la tabla 13, se detallan los valores de p-value, siendo la única comparación de JASS Q'enko – Soñaque con diferencia significativa ($p=0.005 < 0.05$). Este resultado evidencia que existe variabilidad en los valores de pH entre estas dos JASS; mientras que en las demás comparaciones no se han evidenciado diferencias significativas.

Tabla 13

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para el pH

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	0.307	0.062	No
Q'enko – Pfullpuri	0.222	0.381	No
Q'enko – Soñaque	0.511	0.005	Sí
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	0.085	0.930	No
Q'ello Q'ello – Soñaque	0.203	0.518	No
Pfullpuri – Soñaque	0.115	0.299	No

3.2. Resultados de Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales

Los LMP y ECA para agua de consumo humano establecen que los valores de conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT) deben ser menores a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1000 mg/L, respectivamente. En todas las JASS, los valores de CE y SDT se han encontrado por debajo de lo establecido en dicha normativa, considerándose agua de buena calidad. Asimismo,

los resultados de CE mostraron una relación correlacional ($K=0.5$) con los SDT, debido a que los valores obtenidos en SDT fueron la mitad de los registrados en CE.

En la JASS de Soñaque, los valores de SDT han registrado valores de 40.10 mg/L a 51.65 mg/L, lo que demuestra los bajos niveles de iones en estas aguas. Los valores de conductividad eléctrica se han mantenido entre 80.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 103.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo directamente proporcional con los resultados de SDT. Si embargo se puede observar un aumento de los SDT y CE en la vivienda “V3”, esto podría deberse a las condiciones de la red de distribución o la vivienda.

En la JASS de Q’ello Q’ello, se observa que los valores más elevados de SDT y CE corresponden a las captaciones; Sin embargo, estas captaciones muestran diferencias significativas entre si, lo que supone que provienen de diferentes fuentes subterráneas o que atraviesan acuíferos con distinta composición mineral. Por otro lado, se observa una disminución en los valores medidos después de C1 y C2, lo que puede atribuirse a las diluciones o precipitaciones de sales en la línea de conducción. En cambio, el incremento registrado en las viviendas abastecidas desde C3 podría deberse a la corrosión en la red de distribución o infiltración de sales.

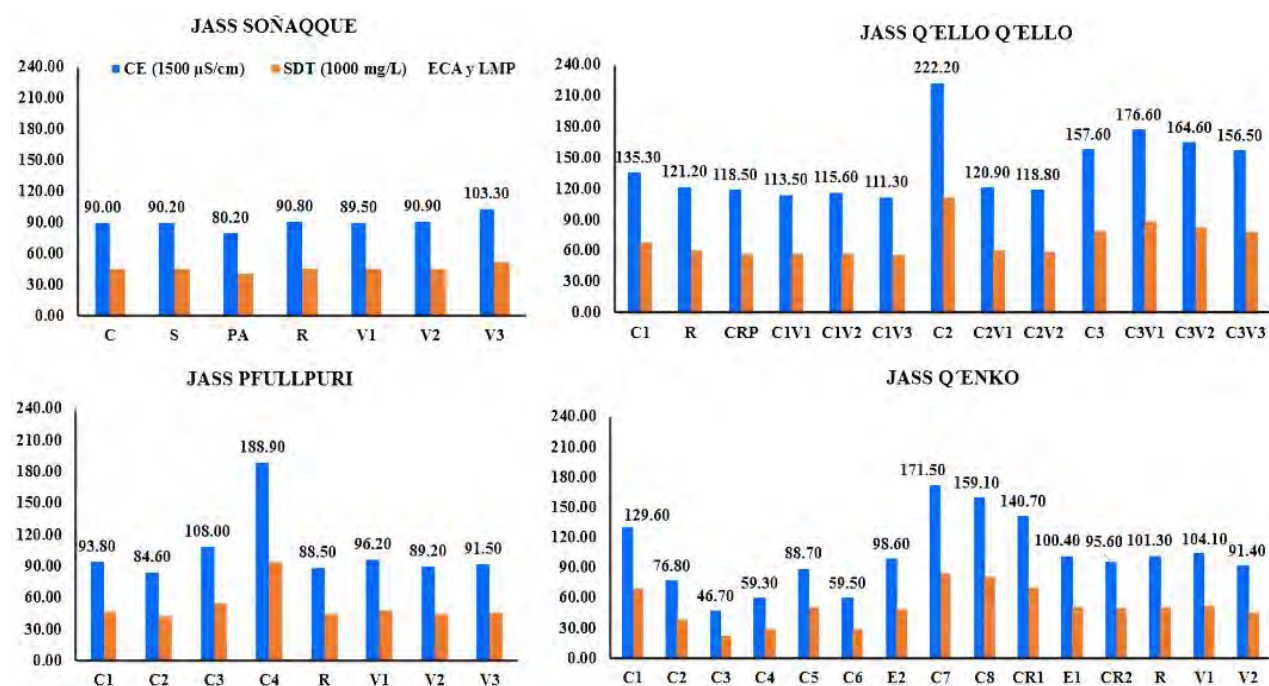
En la JASS Pfullpuri, el valor mas elevado de SDT y CE se ha registrado en la captación C4 (188.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 94.45 mg/L), lo que indica una mayor concentración de sales disueltas; mientras que el valor más bajo se encontró en la captación C2 (84.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 42.30 mg/L). Estas diferencias reflejan la variabilidad de la composición ionica y corroboran lo observado en los valores de pH, ya que a pH ácidos mayor disolución de iones, lo que incrementa tanto la CE y los SDT. Por otro lado, desde el reservorio R hasta la vivienda V3, los resultados de CE y SDT se han mantenido relativamente homogéneos, lo que supone una baja variación en la composición ionica.

En la JASS Q’enko, los valores de SDT y CE han oscilado entre 22.70 mg/L a 84.50 mg/L y de 46.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 171.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Asimismo, se ha evidenciado que en las

captaciones C1, C2, C3, C4, C5 y C6 los valores de CE y SDT son inferiores en comparación con los obtenidos en C7 y C8. Esta diferencia puede atribuirse a que estas últimas provienen de fuentes de agua subterránea con mayor concentración de sales. Mientras que, los valores bajos pueden deberse a que no hay muchas sales inorgánicas (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , etc.) en dichas aguas. En la figura 21, se observan los valores obtenidos de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

Figura 21

Valores obtenidos de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de las JASS Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



En la tabla 14, se detallan los valores obtenidos de ANOVA para los sólidos disueltos totales, siendo el valor de p-value (0.005) inferior a 0.05. Es decir, que al menos una JASS evidencia variación significativa en cuanto a la conductividad eléctrica.

Tabla 14

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para sólidos disueltos totales

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	4.993	0.005
Dentro de grupos	39		
Total	42		

En la tabla 15, se detallan los resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey. De los resultados se observaron que la comparación de pares entre las JASS “Q’enko – Q’ello Q’ello” y “Q’ello Q’ello – Soñaqqe” han obtenido valores de p-value de 0.018 y 0.010, respectivamente. Lo que evidencia la variabilidad de sólidos disueltos totales en ambos pares de JASS.

Tabla 15

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para los sólidos disueltos totales

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q’enko – Q’ello Q’ello	18.840	0.018	Sí
Q’enko – Pfullpuri	0.978	0.999	No
Q’enko – Soñaqqe	6.147	0.837	No
Q’ello Q’ello – Pfullpuri	17.862	0.080	No
Q’ello Q’ello – Soñaqqe	24.987	0.010	Sí
Pfullpuri – Soñaqqe	7.125	0.827	No

En la tabla 16, se detallan los valores de ANOVA obtenidos para la conductividad eléctrica, siendo los valores estadísticos similar a los sólidos disueltos totales. Se ha obtenido un p-value menor a 0.05, lo que indica una variación significativa de este parámetro en las JASS.

Tabla 16

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para conductividad eléctrica

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	5.270	0.0038
Dentro de grupos	39		
Total	42		

En la tabla 17, se presentan los resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey, observándose diferencias significativas en las comparaciones “Q’enko – Q’ello Q’ello” y “Q’ello Q’ello – Soñaqqe”, debido a que han obtenido valores de p-value inferiores a 0.05. Este resultado evidencia la variabilidad de conductividad eléctrica entre dichos pares de JASS.

Tabla 17

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para la conductividad eléctrica

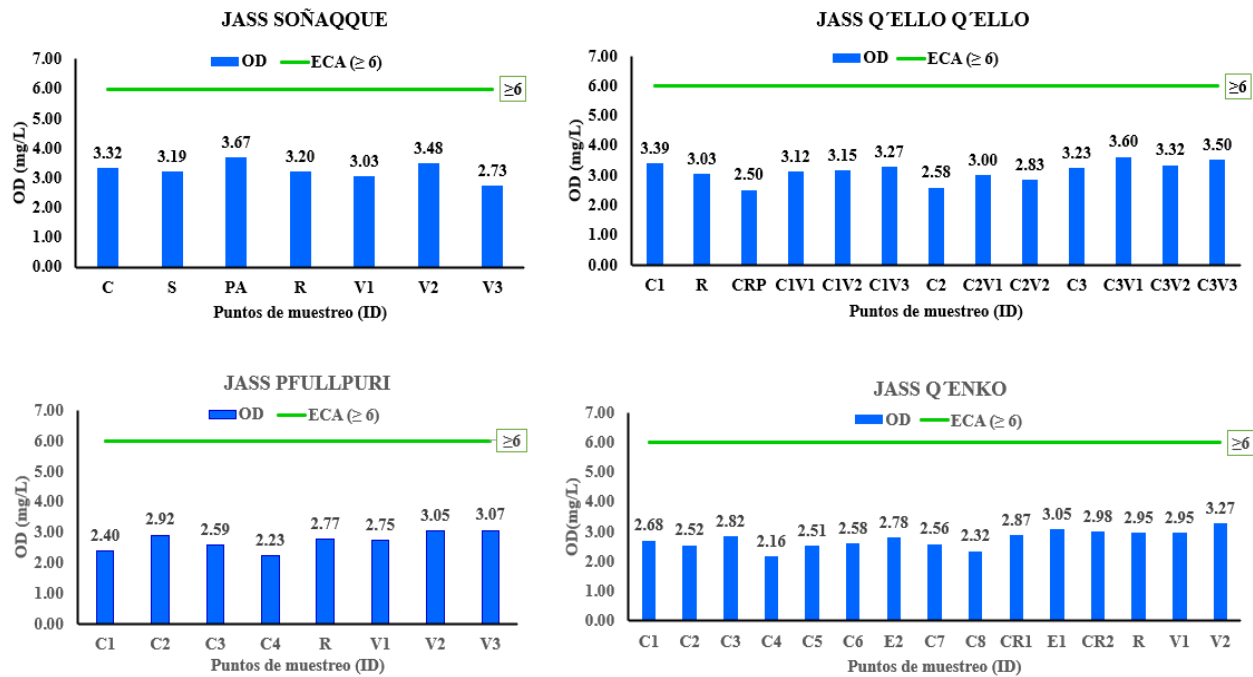
Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	39.415	0.011	Sí
Q'enko – Pfullpuri	3.534	0.994	No
Q'enko – Soñaqqe	10.853	0.879	No
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	35.881	0.075	No
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	50.269	0.009	Sí
Pfullpuri – Soñaqqe	14.387	0.819	No

3.1. Resultados de Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) no ha sido incorporado como parámetro en los LMP para agua potable; sin embargo, si se encuentra considerado dentro de los ECA para agua. Es por ello, la comparación se ha realizado con los ECA y específicamente en las captaciones. En este sentido, en todas las JASS los valores de OD se han encontrado por debajo de lo establecido (≥ 6). Estas bajas concentraciones de oxígeno disuelto pueden deberse a la altitud que se encuentra las captaciones, ya que a mayor altura menor es la solubilidad de oxígeno disuelto. En la figura 22, se observan los valores obtenidos en cada JASS, encontrándose el valor más elevado en el pozo de almacenamiento (PA) de 3.67 mg/L correspondiente a la JASS de Soñaqqe. Esto puede atribuirse a la caída del agua en el PA, lo cual favorece el intercambio de oxígeno disuelto con la atmosfera. Por otro lado, el valor más bajo se ha encontrado en la captación C4 de 2.16 mg/L, correspondiente a la JASS de Q'enko.

Figura 22

Valores obtenidos de OD en las JASS Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



En la tabla 18, se describen los resultados estadísticos de ANOVA para el oxígeno disuelto, obteniéndose un valor de p-value de 0.0006, siendo inferior a 0.05. Es decir, hay variación significativa de OD entre las JASS.

Tabla 18

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	7.042	0.0006
Dentro de grupos	39		
Total	42		

En la tabla 19 se presentan los resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey para el oxígeno disuelto. Se ha observado que las comparaciones Q'enko – Q'ello Q'ello ($p = 0.0096$), Q'enko –

Soñaqqe ($p = 0.0053$), Q'ello Q'ello – Pfullpuri ($p = 0.0241$) y Pfullpuri – Soñaqqe ($p = 0.0118$) mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 19

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para el oxígeno disuelto

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	0.383589744	0.0096	Sí
Q'enko – Pfullpuri	0.010833333	0.9999	No
Q'enko – Soñaqqe	0.498095238	0.0053	Sí
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	0.394423077	0.0241	Sí
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	0.114505495	0.6987	No
Pfullpuri – Soñaqqe	0.508928571	0.0118	Sí

3.1. Resultados de Turbidez

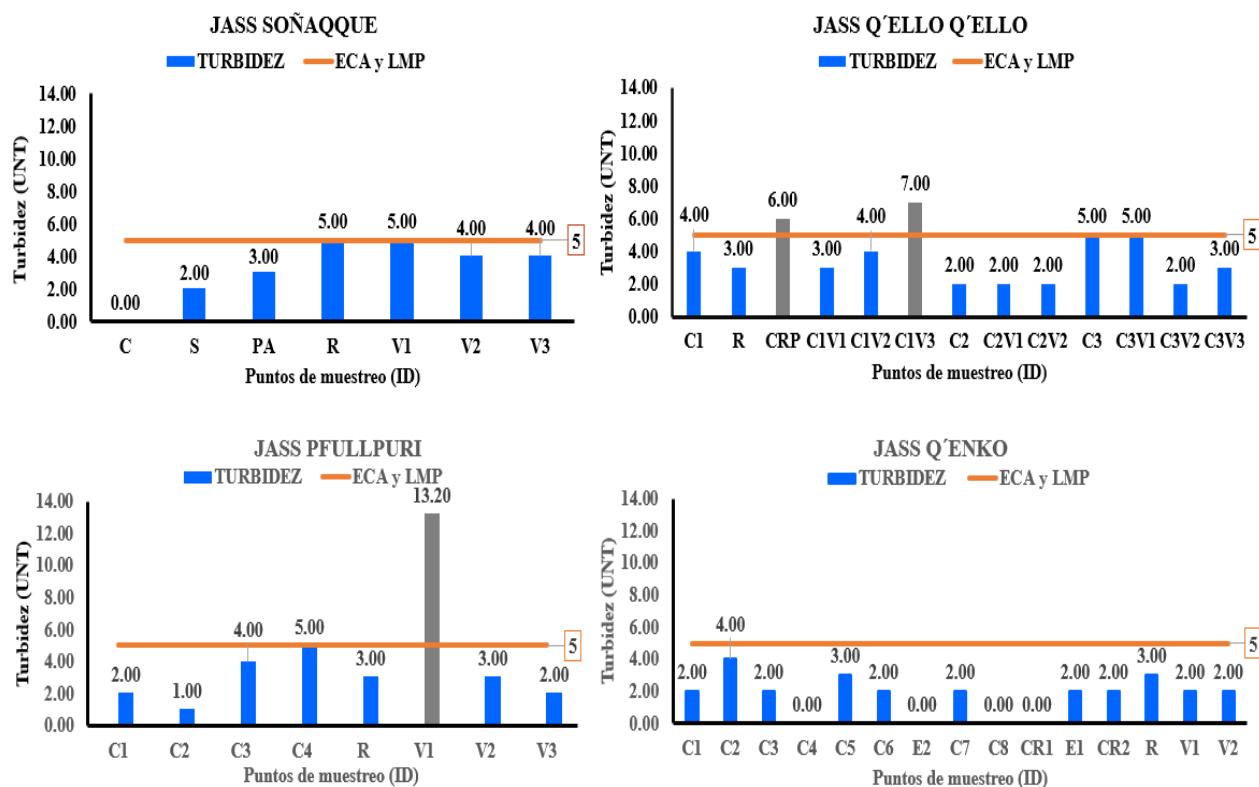
En la figura 23, se observan los valores obtenidos de turbidez de las 4 JASS, Los resultados más relevantes se han encontrado en las JASS Q'ello Q'ello y Pfullpuri debido a que han superado el valor máximo permitido de turbidez (5 UNT) de los ECA y LMP para agua. Mientras que las JASS de Soñaqqe y Q'enko han registrado valores de turbidez dentro de lo establecido en dichas normativas.

En la JASS de Soñaqqe la turbidez aumentó progresivamente, pasando de 0 UNT en la captación “C” hasta 5 UNT en el reservorio “R”, lo que supone la falta de limpieza y mantenimiento de los sistemas de agua potable. En la JASS de Q'ello Q'ello los valores más altos se han encontrado en la cámara rompe presión (CRP) con 6 UNT y la vivienda C1V3 con 7 UNT.

Estos valores elevados podrían deberse a la presencia de partículas de materia orgánica observados durante el muestreo, así como la corrosión de tuberías o infiltración de partículas coloidales. En la JASS de Pfullpuri, el valor más alto se ha evidenciado en la vivienda V1 de 13.2 UNT, esto podría atribuirse la incrustación de cal y acumulación de materia orgánica en la pileta, debido a la falta de uso del sistema de agua potable en dicha vivienda. En la JASS Q'enko los valores de turbidez han oscilado entre 0 y 4 UNT. Las variaciones de los valores de turbidez dependen de la naturaleza de cada fuente de agua; sin embargo, los valores elevados podrían deberse a la exposición del polvo o materia orgánica. En consecuencia, podrían inhibir el proceso de desinfección; es por ello que, se recomienda mantener por debajo de los 1 UNT (OMS, 2017).

Figura 23

Valores obtenidos de turbidez en las JASS de Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



En la tabla 20, se observa la diferencia global significativa entre las JASS ($p=0.040$), siendo ligeramente menor a 0.05, lo que indica una cierta variabilidad entre los grupos.

Tabla 20

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para turbidez

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	3.031	0.040
Dentro de grupos	39		
Total	42		

En la tabla 21, correspondiente a la prueba Post-Hoc de Tukey, no se encontraron diferencias significativas en las comparaciones entre los pares de JASS debido a que han obtenido valores de p-value superiores a 0.05. Esto sugiere que la variabilidad obtenida por el ANOVA se distribuye en el grupo, pero ningún par de JASS difiere de forma clara y significativa.

Tabla 21

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para turbidez

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	1.96	0.0894	No
Q'enko – Pfullpuri	2.42	0.062	No
Q'enko – Soñaqqe	1.55	0.396	No
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	0.46	0.963	No
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	0.41	0.976	No
Pfullpuri – Soñaqqe	0.86	0.861	No

3.1. Resultados de ORP

El ORP es un parámetro que no se ha considerado en los LMP y ECA para agua; sin embargo, su importancia resalta en la eficacia de la cloración y desinfección del agua potable, complementando la medición de cloro libre residual. La OMS menciona que valores superiores a +650 mV de ORP no existen microorganismos vivos en el agua. Aunque, un valor cercano a +500 mV también resulta eficaz, pero requiere un tiempo cercano a una hora para inactivar los microorganismos.

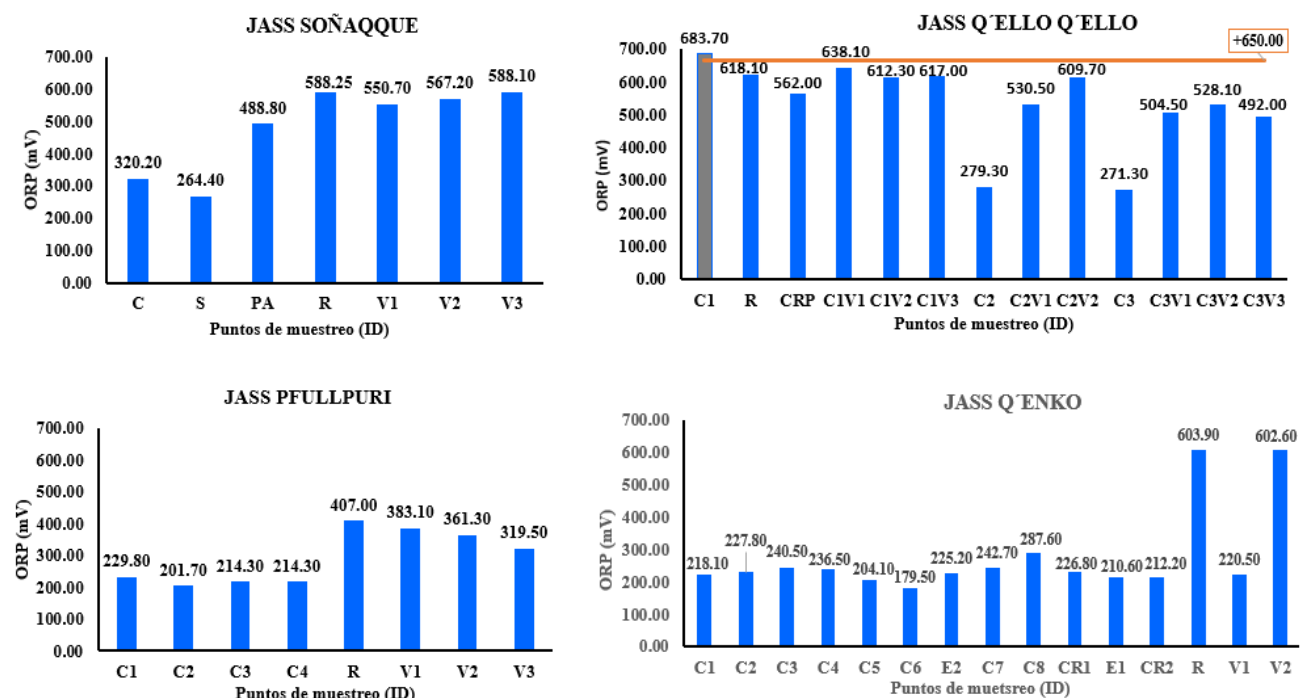
En la JASS de Soñaque, los valores de ORP inferiores a +500 mV se han registrado en los puntos de muestreo de C, S y PA; mientras que los valores superiores a +500 mV se encontraron en las muestras R, V1, V2 y V3. Estos valores elevados podrían atribuirse a la presencia de agentes desinfectantes o agentes oxidantes en el agua. En la JASS de Q'ello Q'ello, el valor más alto se ha registrado en la captación C1 de +683.70, la cual estaría asociada a la limpieza y desinfección reciente realizada por dicha JASS. Sin embargo, en las captaciones C2 y C3 se han registrado valores de +279.30 mV y +271.30 mV, respectivamente, lo que demuestra que estos sistemas no han sido desinfectados, lo que corrobora lo observado al momento del muestreo. En la JASS de Pfullpuri, los valores más bajos de ORP se han encontrado en las captaciones (C1, C2, C3 y C4), lo que supone que todavía no se ha realizado la limpieza y desinfección de dichos sistemas. Por otro lado, el valor más alto de ORP se ha registrado en el reservorio de +407.00, la cual puede estar asociado a la presencia de cloro libre residual; sin embargo, se encuentra por debajo de lo establecido por la OMS.

En la JASS Q'enko, los valores de ORP han oscilado entre +179.50 a +603.90. Los valores más bajos se han registrado en los puntos de muestreo ubicados antes del reservorio (+179.50 a +287.60), esto puede deberse a la falta de limpieza y desinfección en dicha JASS. Mientras que el

valor más alto se ha encontrado en el reservorio (+603.90), lo que corrobora la presencia de cloro libre residual. Posteriormente, en la vivienda V1, el ORP ha disminuido drásticamente hasta +220.50; mientras que en la vivienda V2 se ha registrado un valor elevado de +602.60. Esta diferencia significativa podría deberse al funcionamiento de la red de distribución del sistema de agua potable entre el reservorio y las viviendas, ya que el flujo de agua alcanza con mayor presión a las viviendas más distantes (V2) del reservorio y después abastece a las viviendas más cercanas al reservorio (V1). Por otro lado, durante el muestreo se ha observado que el personal de la JASS se encontraba realizando la cloración, debido a ello, es probable que el cloro libre aun no hubiese alcanzado el punto V1, lo que explicaría el valor reducido de ORP. En la figura 24, se observan los valores obtenidos de ORP.

Figura 24

Valores obtenidos de ORP en las JASS de Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



En la tabla 22 se detallan los valores de ANOVA para el ORP, obteniéndose un valor de $F=12.819$ con un $p\text{-value}=5.661E^{-06}$. Estos valores indican que existen diferencias altamente significativas entre las JASS. Es decir, que no todas las JASS tienen valores de ORP homogéneos ya que difieren de forma evidente entre estas JASS.

Tabla 22

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el potencial de óxido reducción (ORP)

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	12.819	5.661E ⁻⁰⁶
Dentro de grupos	39		
Total	42		

En la tabla 23, la prueba Post-Hoc de Tukey evidencia que las comparaciones entre las JASS Q'enko – Q'ello Q'ello, Q'enko – Soñaque, Q'ello Q'ello – Pfullpuri y Pfullpuri – Soñaque han obtenido valores de $p\text{-value}$ menores a 0.05, evidenciando las diferencias estadísticamente significativas. Estos datos corroboran lo obtenido por el ANOVA.

Tabla 23

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para el potencial de óxido reducción (ORP)

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	258.447	<0.0001	Sí
Q'enko – Pfullpuri	15.468	0.9832	No
Q'enko – Soñaqqe	205.186	0.0049	Sí
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	242.978	0.0002	Sí
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	53.260	0.6083	No
Pfullpuri – Soñaqqe	189.717	0.0221	Sí

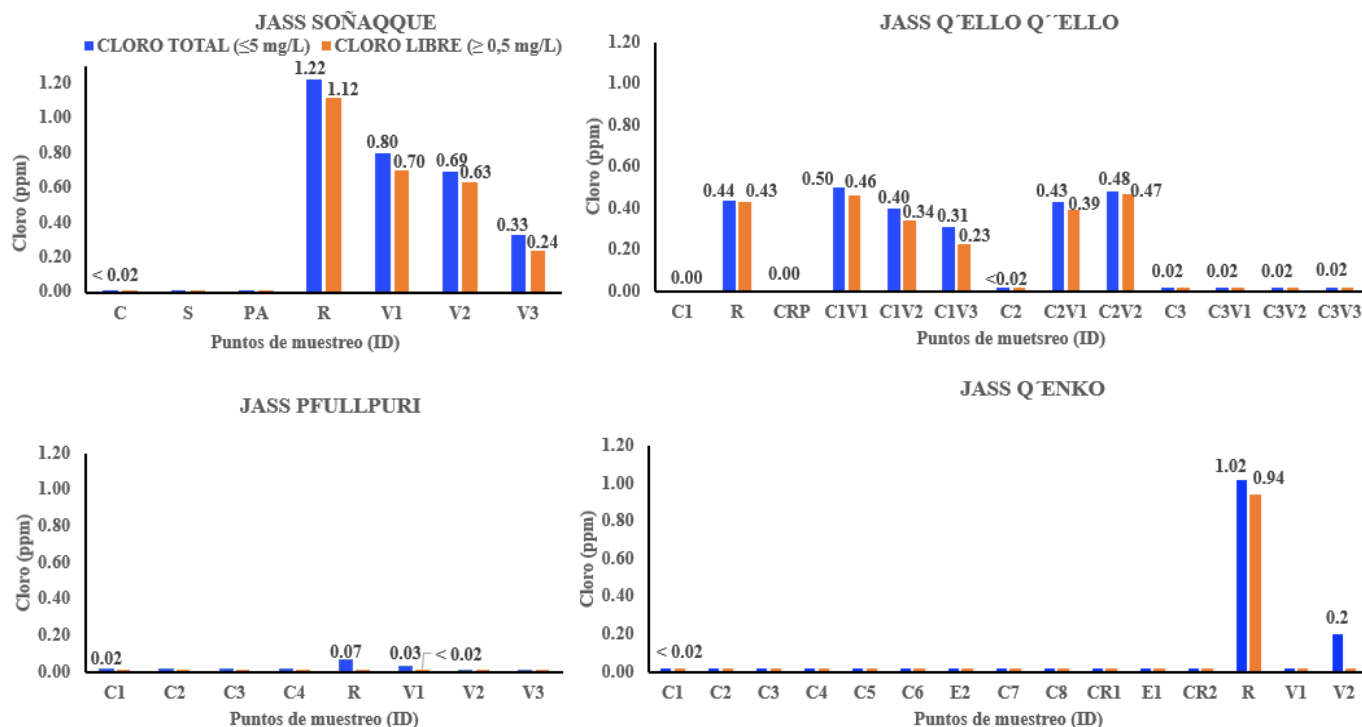
3.1. Resultados de Cloro Total y Cloro Libre Residual

El cloro total y cloro libre residual son dos parámetros importantes para evaluar el grado de desinfección de los sistemas de agua potable. Estos parámetros no están considerados en los ECA para agua; sin embargo, si se encuentran regulados en los LMP para agua de consumo humano. Para garantizar un agua libre de microorganismos patógenos, en todas las viviendas el cloro libre debe ser mayor a 0.5 mg/L, mientras que el cloro total se considera aceptable hasta una concentración de 5 mg/L. En la JASS de Soñaqqe la concentración más alta de cloro total y cloro libre residual se han encontrado en el reservorio de 1.22 mg/L y 1.12 mg/L, respectivamente. Sin embargo, en la vivienda V3 se han registrado concentraciones bajas de 0.33 mg/L y 0.24 mg/L de cloro total y cloro libre, respectivamente. Además, en las muestras C, S y PA se han registrado valores inferiores a 0.02 mg/L, lo que supone que no hay una desinfección adecuada de estos sistemas de agua potable. En la JASS de Q'ello Q'ello en todas las captaciones se han evidenciado

valores bajos de cloro total y cloro libre. En las tres captaciones, ambos parámetros registraron un valor de 0.0 mg/L. No obstante, en la captación C1 los resultados no han sido correlativos con el valor obtenido en ORP, lo que podría indicar la presencia de otros agentes oxidantes en dicha fuente. Asimismo, en las viviendas C3V1, C3V2 y C3V3 se han registrado valores menores a 0.02 mg/L, la cual podría estar asociado a que estas viviendas se abastecen de manera directa desde la captación. En la JASS de Pfullpuri se ha evidenciado concentraciones bajas de cloro libre residual y cloro total en comparación con otras JASS. Además, en todas las captaciones las concentraciones de ambos parámetros han sido inferiores a 0.02 mg/L, lo que demuestra la falta de limpieza y desinfección. Del mismo modo, en el reservorio y las viviendas se han registrado concentraciones por debajo de límite mínimo permitido por la normativa. Por otro lado, se ha evidenciado la presencia de cloro total, pero con ausencia de cloro libre. Es decir, que el cloro dosificado ha reaccionado en su totalidad con materia orgánica, microorganismos, etc. En la JASS Q'enko, al igual que otras JASS previamente mencionadas, los puntos de muestreo ubicados antes del reservorio han registrado valores de cloro total y cloro libre inferiores a 0.02 mg/L e incluso se ha evidenciado ausencia de cloro. Asimismo, en el reservorio se ha obtenido una concentración de cloro total de 1.02 mg/L y de cloro libre residual de 0.94 mg/L. La diferencia entre ambos parámetros corresponde al cloro combinado (0.08 mg/L), principalmente a la reacción del cloro con compuestos orgánicos. Sin embargo, en la vivienda V2 se ha evidenciado cloro total pero no cloro libre residual, esto podría explicarse a que todo el cloro libre ha reaccionado en la red de distribución. En la figura 25 se observan las concentraciones obtenidas de cloro total y cloro libre residual.

Figura 25

Concentraciones obtenidos de cloro total y cloro libre residual de las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



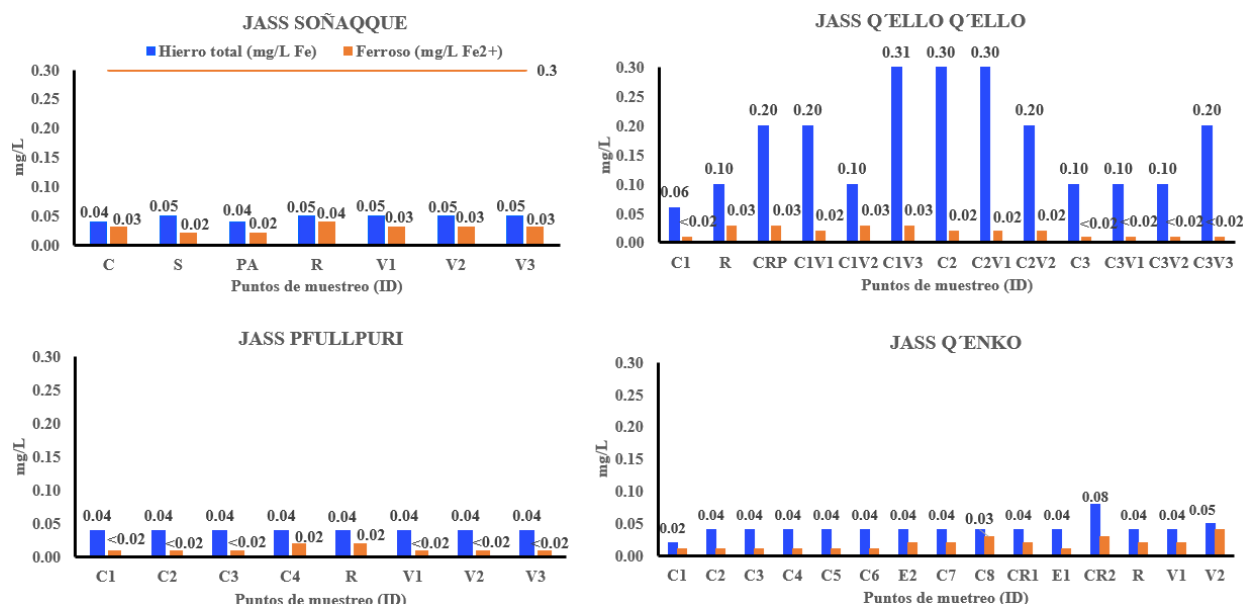
3.1. Resultados de Hierro Total y Hierro Ferroso

La concentración máxima de hierro total establecido en los LMP y ECA para agua es ≤ 0.3 mg /l; Asimismo, en este trabajo de investigación se ha determinado el hierro ferroso (Fe^{2+}) para evaluar la fracción soluble en el agua. En la JASS de Soñaqqe las concentraciones de hierro total y hierro ferroso se han mantenido en torno a 0.05 mg/L y 0.02 mg/L, respectivamente. En la JASS de Q'ello Q'ello, la concentración más alta de hierro total se ha registrado en la vivienda C1V3 de 0.31 mg/L correspondiente a la captación C1; mientras que el valor más bajo se ha registrado en la captación C1 con 0.06 mg/L. Además, los valores de hierro ferroso han oscilado entre 0.01 mg/L a 0.03 mg/L. Esto evidencia que la fracción predominante de hierro es el hierro férrico (Fe^{3+}), lo cual se podría explicar a la oxidación del hierro ferroso en presencia de oxígeno disuelto, corrosión

de tuberías, la presencia de materia orgánica o partículas en suspensión, etc. Asimismo, la concentración más alta en C1V3 presenta una correlación con el valor registrado de turbidez en dicho punto de muestreo. La captación C2 ha registrado una mayor concentración de hierro total en comparación con las demás captaciones; sin embargo, este resultado no se correlaciona con el valor obtenido de turbidez en dicha captación, lo que supone que el hierro férrico se encuentra en forma de partículas microscópicas que no generan un aumento significativo en la lectura de turbidez. En la JASS de Pfullpuri, todas las muestras analizadas han presentado concentraciones de hierro total de 0.04 mg/L; mientras que la concentración de hierro ferroso ha sido ≤ 0.02 mg/L. En la JASS Q'enko el valor más relevante de hierro total se ha observado en la cámara de reunión CR2 de 0.08 mg/L; mientras que el valor más alto de hierro ferroso se ha registrado en la vivienda V2 con 0.04 mg/L. No obstante, estos valores se ubican muy por debajo de lo establecido en los LMP y ECA para agua. En la figura 26 se observan las concentraciones obtenidas de hierro total y hierro ferroso.

Figura 26

Concentraciones obtenidos de hierro total y hierro ferroso en las JASS de Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



3.1. Resultados de Dureza y Alcalinidad

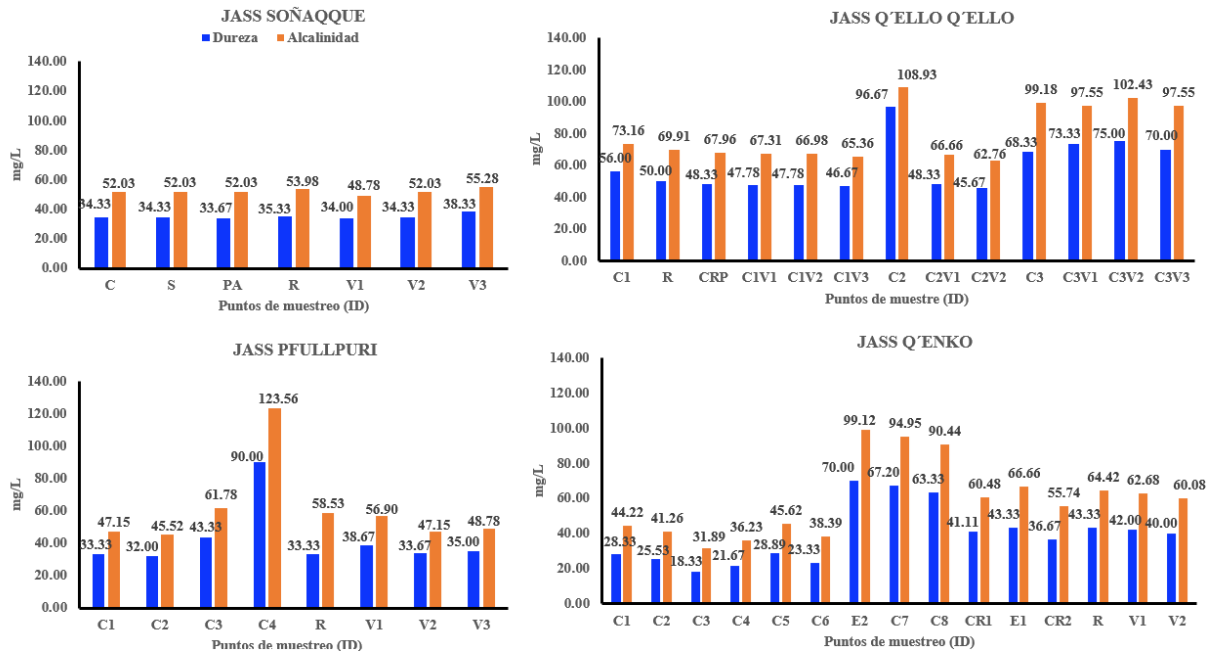
En todas las JASS, las concentraciones de dureza se han encontrado dentro de los LMP y ECA para agua (≤ 500). No obstante, la alcalinidad no se encuentra establecida como parámetro en los LMP y ECA. Por tal motivo, los valores de alcalinidad se han comparado con la normativa colombiana, la cual establece un valor máximo permisible de 200 mg/L. Dicho esto, en todas las JASS, los valores de alcalinidad se encontraron dentro de dicha normativa. Asimismo, se ha observado que, la dureza es directamente proporcional a la alcalinidad, ya que un incremento en la concentración de uno de ellos propicia el aumento en el otro parámetro y viceversa.

En la JASS de Soñaque, la dureza ha variado de 52.03 a 55.28 mg/L; lo que indica bajos niveles de sales de magnesio y calcio, considerándose agua blanda. Se considera “agua blanda” aquella agua que presenta valores de dureza inferiores a 75 mg/L como CaCO_3 ; sin embargo, estos valores bajos pueden afectar en la capacidad amortiguadora y por tanto la corrosión de las tuberías

(Pérez, 2016). Asimismo, según los valores obtenidos de alcalinidad (33.67 mg/L – 38.33 mg/L) son consideradas aguas moderadamente a muy amortiguadoras. En la JASS Q'ello Q'ello, la captación C2 ha registrado concentración más alta de dureza y alcalinidad en comparación con las demás captaciones, lo que podría atribuirse a que el agua atraviesa por formaciones ricas en minerales de calcio y magnesio como calcita, aragonito y otros carbonatos. No obstante, la alcalinidad supera los valores de dureza; es decir que la alcalinidad proviene de otras especies presentes en el agua, como los bicarbonatos y carbonatos de sodio y potasio. En la JASS de Pfullpuri, la captación C4 ha obtenido el valor más alto de dureza (90.00 mg/L) y alcalinidad (123.56 mg/L), lo que evidencia que esta captación proviene de una fuente de agua subterránea distinta a las demás captaciones. Finalmente, en la JASS Q'enko, las captaciones C1, C2, C3, C4, C5 y C6 presentaron valores inferiores a 75 mg/L, por lo que se clasifican como aguas blandas. En cambio, las captaciones C7 y C8 han registrado valores superiores a 75 mg/L, considerándose aguas moderadamente duras. En la figura 27 se describe las concentraciones obtenidas de dureza y alcalinidad de las 4 JASS evaluadas.

Figura 27

Concentraciones obtenidos de dureza y alcalinidad en las JASS Soñaque, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



Los valores de ANOVA global evidencian un valor de $F=1.433$ y un $p\text{-value}=0.003$, evidenciando la variabilidad estadísticamente significativa entre las JASS evaluadas. Los resultados de ANOVA obtenidos se describen en la tabla 24.

Tabla 24

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para dureza

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	5.433	0.003
Dentro de grupos	39		
Total	42		

Los resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey para la dureza han evidenciado que los pares de JASS Q'enko – Q'ello Q'ello y Q'ello Q'ello – Soñaque presentan diferencias

significativas. Mientras que los demás pares de JASS no mostraron diferencias significativas, evidenciando que los valores de dureza son similares. Estos resultados se describen en la tabla 25.

Tabla 25

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para dureza

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	19.9894	0.0077	Sí
Q'enko – Pfullpuri	2.8795	0.9418	No
Q'enko – Soñaqqe	4.6338	0.8185	No
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	17.1099	0.0847	No
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	24.6232	0.0080	Sí
Pfullpuri – Soñaqqe	7.5133	0.6511	No

En la tabla 26, se observan los valores de ANOVA para la alcalinidad, siendo $F=8.3953$ y $p\text{-value}=0.0001$, lo que evidencia la variabilidad significativa entre los grupos de las JASS evaluadas.

Tabla 26

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para alcalinidad

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	8.3953	0.0001
Dentro de grupos	39		
Total	42		

En la tabla 27, se describen los resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey para la alcalinidad, donde se ha evidenciado la variabilidad significativa en los pares de JASS Q'enko – Q'ello Q'ello ($p=0.0146$), Q'ello Q'ello – Pfullpuri ($p=0.0086$) y Q'ello Q'ello – Soñaqqe ($p=0.0086$). Lo que supone que el agua podría estar influenciada por la naturaleza propia de las fuentes de agua de las JASS.

Tabla 27

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para alcalinidad

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	20.9550	0.0146	Sí
Q'enko – Pfullpuri	17.0617	0.1523	No
Q'enko – Soñaqqe	7.16942	0.6932	No
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	38.0168	0.0001	Sí
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	28.1245	0.0086	Sí
Pfullpuri – Soñaqqe	9.8923	0.5689	No

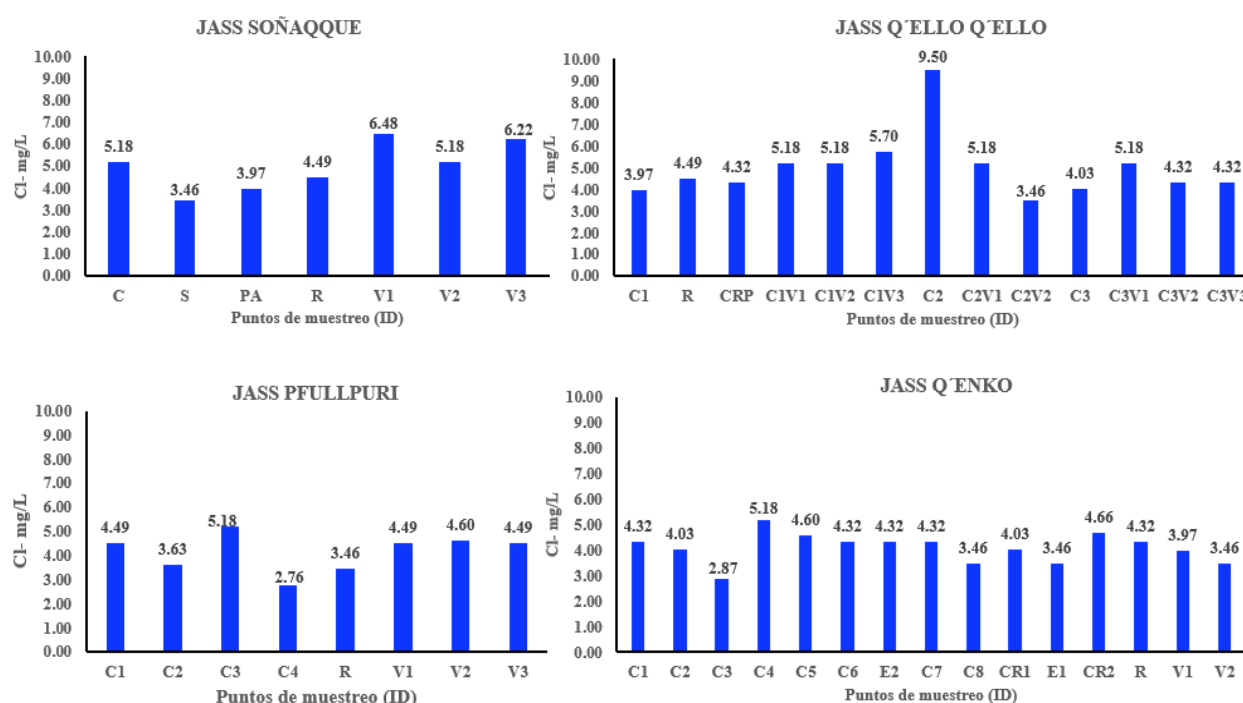
3.1. Resultados de Cloruros, Acidez y Sulfatos

Los organismos internacionales (OMS, Unión Europea, Canadá y China) y nacionales han establecido un valor máximo permisible para el cloruro (250 mg/L Cl^-) en aguas para consumo humano. La concentración de cloruros en todas las JASS han sido inferiores a 10 mg/L Cl^- , encontrándose dentro del valor antes mencionado, lo que supone que los cloruros no representan una amenaza a la salud de los usuarios. En la JASS de Soñaqqe la concentración de cloruros ha variado entre 3.46 a 6.22 mg/L Cl^- ; Sin embargo, se ha observado un incremento en la

concentración de cloruros posterior al reservorio, la cual podría estar asociado a la reducción de cloro libre. En la JASS de Q'ello Q'ello el resultado más alto se ha observado en la captación C2 (9.50 mg/L Cl⁻), mientras que el valor más bajo se ha registrado en la vivienda C2V1. Asimismo, en la JASS de Pfullpuri y Q'enko se han encontrado registrado concentraciones bajas de cloruros, alcanzado un valor máximo de 5.8 mg/L Cl⁻, esto podría deberse a una baja mineralización y contenido de sales. Los resultados de cloruros se observan en la figura 28.

Figura 28

Concentraciones obtenidos de cloruros en las JASS de Soñaqqe, Q'ello Q'ello, Pfullpuri y Q'enko



Los ECA y LMP para agua establecen que la concentración de sulfatos debe ser igual o inferior a 250 mg/L. Asimismo, la acidez no se encuentra contemplada como parámetro en dichas normativas. En todas la JASS se han evaluado ambos parámetros, obteniéndose de manera uniforme valores de acidez de 9.5 mg/L y concentraciones de sulfatos inferiores a 0.02 mg/L en todos los puntos de muestreo. La acidez baja podría deberse a la presencia de compuestos

débilmente ácidos; mientras que las bajas concentraciones de sulfatos sugieren la ausencia de minerales de sulfuros en las fuentes de agua subterránea y superficial.

En la tabla 28, se detallan los valores estadísticos de ANOVA, siendo $F=2.5007$ y $p\text{-value}=0.0735$. Estos resultados evidencian que no hay una diferencia significativa en cuanto al grupo de las JASS. Estos resultados corroboran los valores obtenidos en la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para cloruros, tal como se observa en la tabla 29.

Tabla 28

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para cloruros

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p-value
Entre grupos	3	2.5007	0.0735
Dentro de grupos	39		
Total	42		

Tabla 29

Resultados de la prueba Post – Hoc de Tukey (comparaciones múltiples) para cloruros

Comparación entre JASS	Diferencia de medias	p-value	Significancia
Q'enko – Q'ello Q'ello	0.8957	0.13054	No
Q'enko – Pfullpuri	0.0501	0.9995	No
Q'enko – Soñaqqe	0.9098	0.2518	No
Q'ello Q'ello – Pfullpuri	0.8455	0.2968	No
Q'ello Q'ello – Soñaqqe	0.0140	0.9999	No
Pfullpuri – Soñaqqe	0.8596	0.4051	No

3.1. Resultados del Análisis Elemental

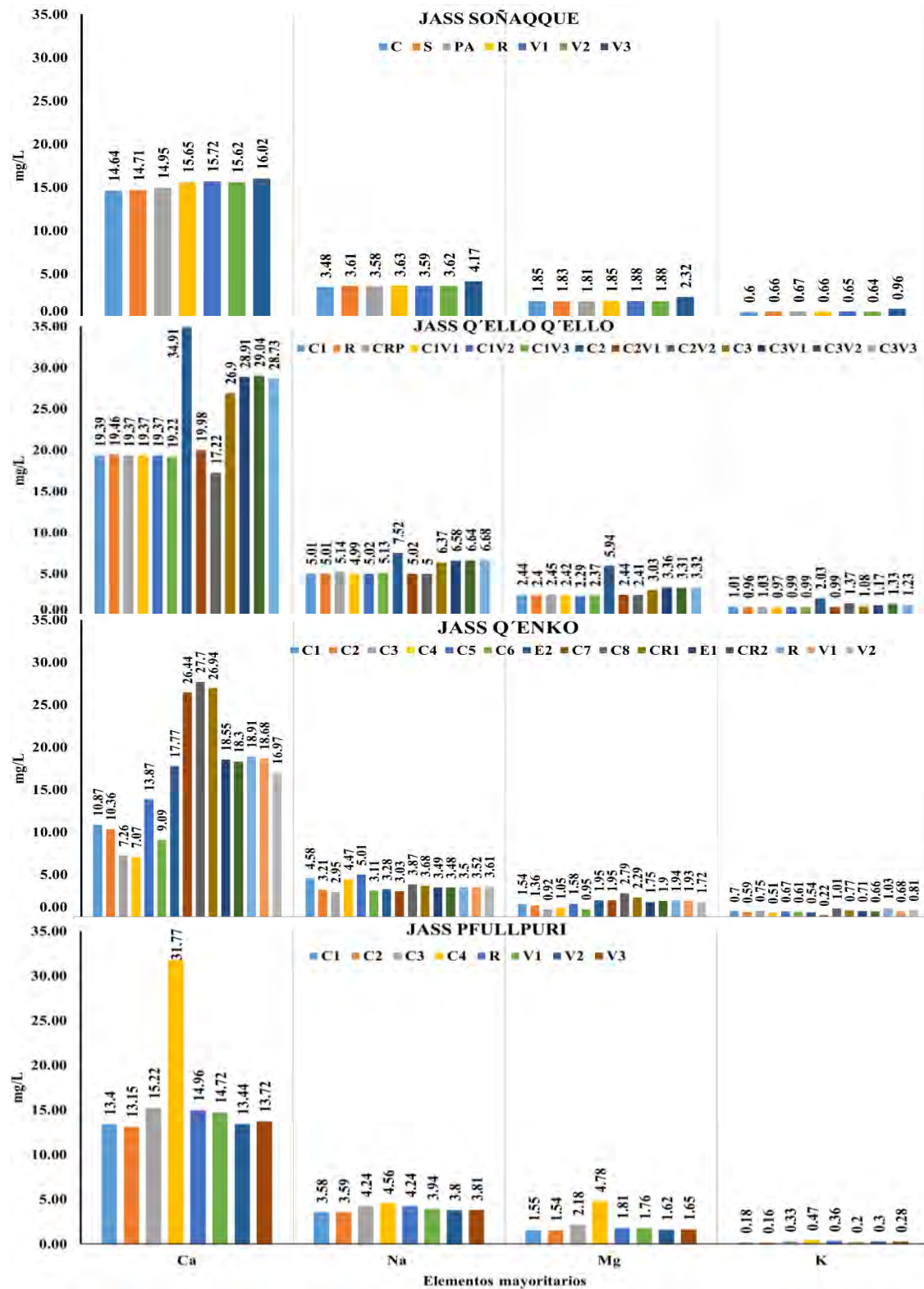
El análisis elemental se ha realizado empleando la técnica de Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP-AES) utilizando un material de referencia certificado (MRC) de tipo matriz para agua potable “ERA potableWatR™”. Este material de referencia se caracteriza por la composición química que posee la matriz y que va acompañado de un certificado donde se describe el nivel de incertidumbre y el nivel de confianza de cada elemento. Las concentraciones obtenidas del MRC “ERA potableWatR™” en el MP-AES han sido idénticas a las concentraciones descritas en dicho certificado, lo que evidencia la precisión, exactitud y trazabilidad del método analítico.

En todas las JASS, las concentraciones de Ca, Na, Mg y K resultaron elevados en comparación con otros elementos, siendo el elemento calcio el de mayor concentración. En la JASS de Soñaque, las concentraciones de calcio han oscilado entre 14.64 mg/L a 16.02 mg/L, sodio entre 3.48 mg/L a 4.17 mg/L, magnesio entre 1.85 mg/L a 2.32 mg/L y potasio entre 0.60 mg/L a 0.96 mg/L. De estos resultados, se ha evidenciado que la mayor concentración de dichos elementos se observó en la vivienda V3, particularmente el calcio, lo cual guarda correlación con los valores de dureza obtenidos previamente. No obstante, los ECA y LMP para la calidad del agua han establecido un valor límite únicamente para sodio (200 mg/L), sin considerar los demás elementos. En la JASS de Q’ello Q’ello, las concentraciones más altas calcio, sodio, magnesio y potasio se encontraron en la captación C2, Sin embargo, las concentraciones bajas no siguieron un patrón uniforme, siendo particulares para cada elemento en cada punto de muestreo. Por otro lado, se ha observado una mayor concentración de los elementos evaluados en la JASS de Q’enko en comparación con la JASS de Pfullpuri; sin embargo, ambas mantienen un comportamiento similar

con las demás JASS, En la figura 29, se observa los elementos mayoritarios obtenidos por MP-AES.

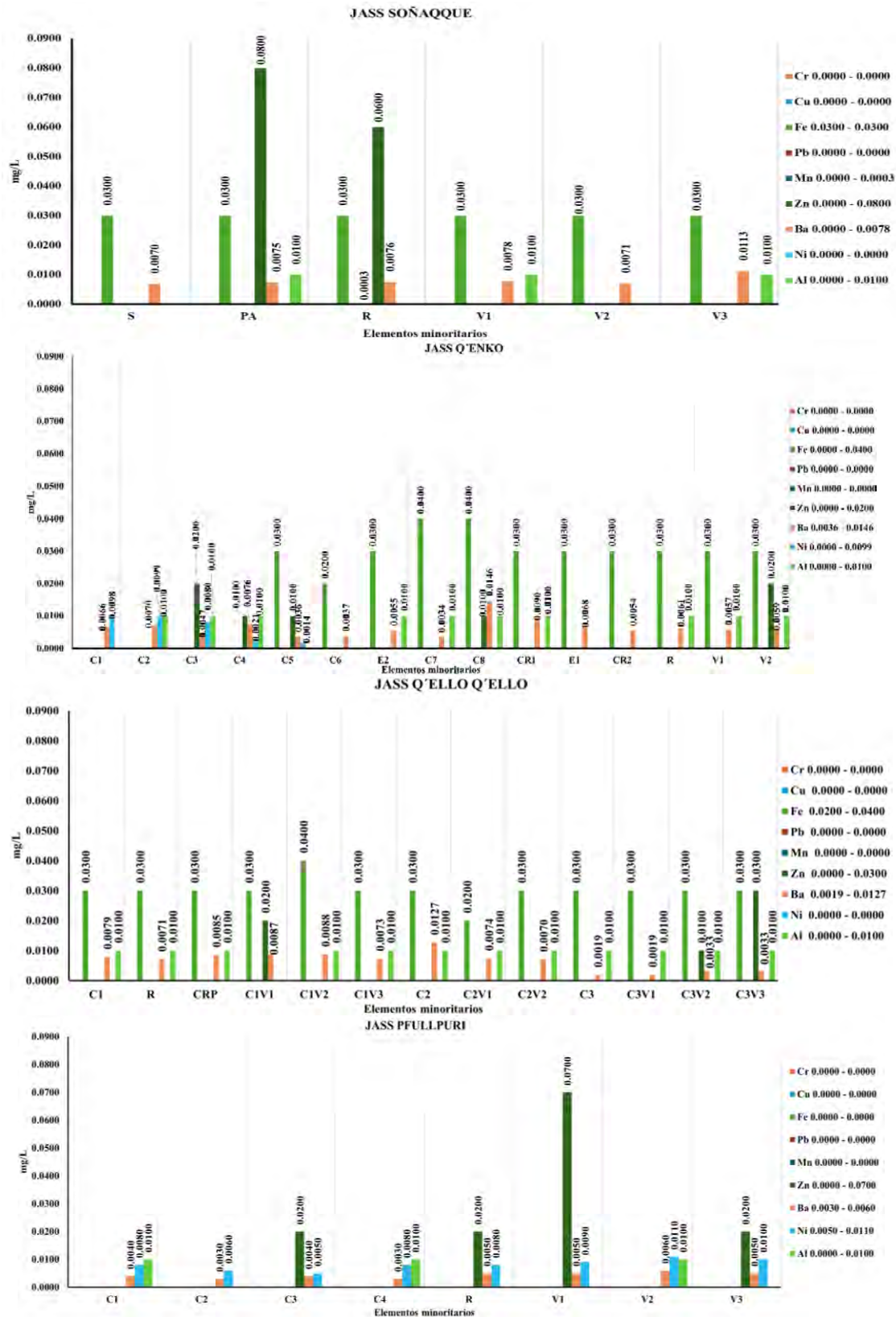
Figura 29

Resultados de elementos mayoritarios (Ca, Na, Mg y K)



En la figura 30, se describen las concentraciones de los elementos minoritarios obtenidos por MP-AES. Las concentraciones de Cr, Cu, Pb y Mn se han encontrado por debajo del límite de detección del MP-AES; mientras que, los valores de Zn, Fe, Al, Ba y Ni se han registrado entre 0.003 mg/L a 0.011 mg/L. Sin embargo, todos estos valores no son un riesgo para la salud ya que se han encontrado dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de consumo humano. En la JASS de Soñaqqe, se ha observado que el Zn es el elemento con mayor concentración con un valor de 0.0800 mg/L. La concentración de Fe ha sido constante en todos los puntos de muestreo de 0.0300 mg/L. El Mn se ha encontrado únicamente en el reservorio, con una concentración de 0.0003 mg/L. En cuanto al Ba, sus concentraciones han variado entre 0.0070 y 0.0113 mg/L; mientras que el Al se ha encontrado en los puntos de muestreo de PA, V1 y V3, siendo un único valor de 0.01 mg/L. No obstante, no se ha encontrado Cr, Cu, Pb y Ni en ninguna de las muestras analizadas. En la JASS de Q'enko, se ha observado que el Fe fue el elemento con mayor concentración de 0.0400 mg/L. Los elementos Zn, Ba, Ni y Al han obtenido concentraciones máximas de 0.0200, 0.0146, 0.0099 y 0.0100 mg/L, respectivamente. Mientras que los elementos Cr, Cu, Pb y Mn no fueron detectados por el MP-AES. De manera similar, en la JASS de Q'ello Q'ello se ha observado la concentración más alta en Fe (0.0400). En cuanto a elementos de Zn, Ba y Al se registraron concentraciones de 0.0300 mg/L, 0.0127 mg/L y 0.0100 mg/L, respectivamente. Por otro lado, no se han encontrado concentraciones detectables de Cr, Cu, Pb, Mn y Ni. Finalmente, en la JASS de Pfullpuri se registraron concentraciones de Zn (0.0000 - 0.0700 mg/L), Ba (0.0030 – 0.0700 mg/L), Ni (0.0050 – 0.0110 mg/L) y Al (0.0000 - 0.0100 mg/L); mientras que en los elementos de Cr, Cu, Fe, Pb y Mn no se detectaron concentraciones.

Figura 30
Resultados de elementos minoritarios



CONCLUSIONES

- En todas las JASS, los valores de los parámetros fisicoquímicos cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua a excepción del parámetro de oxígeno disuelto. Asimismo, en determinadas muestras de las JASS de Pfullpuri, Q'ello Q'ello y Q'enko los valores de cloro libre, pH y turbiedad no se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua de consumo humano.
- Las concentraciones obtenidas en el análisis elemental (Al, Cu, Fe, Zn, Na, Ca, K, Cr, Mn, Ni, Ba, Pb y Mg), realizado mediante Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP-AES 4210) en las muestras de agua de las JASS de Pfullpuri, Q'ello Q'ello, Q'enko y Soñaque, se encuentran dentro de los valores establecidos por los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de consumo humano.
- La JASS Soñaque suministra agua de calidad en comparación con las demás JASS (Pfullpuri, Q'ello Q'ello y Q'enko) ya que los valores de los parámetros fisicoquímicos y metales se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de consumo humano.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados, las JASS con fuentes de aguas subterráneas (Pfullpuri, Q'ello Q'ello y Q'enko) no cumplen con los valores establecidos en los LMP y ECA; Por ello, se recomienda implementar programas de capacitación para los operadores de dichas JASS, con el fin de garantizar un adecuado manejo y operación en los procesos de tratamiento y cloración.
- Para una buena gestión de la calidad del agua se recomienda a las JASS Pfullpuri, Q'ello Q'ello y Q'enko realizar la limpieza, desinfección de los sistemas de agua potable; además verificar las tuberías de las redes de distribución ya que en las viviendas se ha evidenciado valores inferiores a 0.5 mg/L de cloro libre y valores elevados a 5 UNT de turbidez. De esta manera asegurar la calidad del agua y la salud de las personas.
- Evaluar de manera periódica la caracterización de metales en las fuentes subterráneas y superficiales. De esta manera garantizar la seguridad y prevenir problemas a la salud por acumulación de metales.
- Para evaluar la calidad del agua se recomienda realizar los análisis en la temporada de lluvia, de este modo evidenciar la variación o similitud con la temporada seca.

REFERENCIAS

- Abegaz, M. T., & Midekssa, M. J. (2021). Calidad y seguridad de las fuentes de agua potable de las comunidades rurales en el distrito de Guto Gida, Oromia, Etiopía. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021, 5568375. <https://doi.org/10.1155/2021/5568375>
- Al Alawi, A. M., Al Badi, A., Al Huraizi, A., & Falhammar, H. (2021). Capítulo 6—Magnesio: Investigaciones y desarrollos recientes. En N. A. M. Eskin (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 96, pp. 193-218). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.01.001>
- Alvarez-Bastida, C., Martínez-Miranda, V., Vázquez-Mejía, G., Solache-Ríos, M., Fonseca-Montes de Oca, G., & Trujillo-Flores, E. (2013). La naturaleza corrosiva del manganeso en el agua potable. *Science of The Total Environment*, 447, 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.005>
- ANA. (2019). Ley de los recursos hídricos: Ley N.º 29338. ANA. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/228>
- Arango, Á. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + Limpia*, Vol.7(No.1), 59-67.
- Araya-Obando, A., Jones-Sánchez, M., & Romero-Esquivel, L. G. (2019). Modelos de predicción de Trihalometanos en redes de distribución de agua: Determinación de tiempos medios de residencia. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4126>
- Argudo García, J. J. (2019). La gestión del agua en distintas civilizaciones: De Grecia a la actualidad. *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, 15, 60-75.
- Askenaizer, D. (2003). Calidad y tratamiento del agua potable. En R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)* (pp. 651-671). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00186-1>
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). Plan nacional de recursos hídricos del Perú: Memoria 2013. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/224>
- Baird, C. (2001). *Química ambiental*. Reverte.
- Balaram, V. (2020). Espectrometría de emisión atómica de plasma de microondas (MP-AES) y sus aplicaciones: Una revisión crítica. *Microchemical Journal*, 159, 105483. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105483>
- Balaram Vysetti, * Dharmendra Vummiti. (2020). Análisis de muestras geoquímicas mediante plasma de microondas-AES. *Atomic Spectroscopy*, 35(2), 154-162. <https://doi.org/10.46770/AS.2014.02.003>
- Barceló, I. D., Allende, I., Solís, H., Bussy, A. L., & González, C. (2002). Determinación del estado de equilibrio de un sistema hídrico. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 46(2), 93-104.

- Benites Ruesta, P. J. G. (2021). *Evaluación físico-química y microbiológica del agua consumida por la población y propuestas tendientes a su mejora, en Chulucanas, provincia de Morropón-Piura* [Tesis de Bachiller, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1515>
- Bentivegna, K., Waldman, R. A., & Grant-Kels, J. M. (2021). Nutrición y agua. *Clinics in Dermatology*, 39(5), 757-761. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2021.05.003>
- Besouw, M. T., & Bockenhauer, D. (2019). Capítulo 3—Metabolismo del potasio. En W. Oh & M. Baum (Eds.), *Nephrology and Fluid/electrolyte Physiology (Third Edition)* (pp. 31-46). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-53367-6.00003-0>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bost, M., Houdart, S., Oberli, M., Kalonji, E., Huneau, J.-F., & Margaritis, I. (2016). El cobre en la dieta y la salud humana: Evidencia actual y problemas pendientes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 35, 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.02.006>
- Cabezas Sánchez, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 309-316. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2018.352.3761>
- Carpio Torres, D. E., & Uguña Minchala, R. X. (2022). *Determinación de la calidad de agua en las Juntas Administradoras de Agua Potable pertenecientes a la microcuenca del Burgay* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21676>
- CEPLAN [Centro Nacional de Planeamiento Estratégico]. (2025). *Observatorio Nacional de Prospectiva*. <https://observatorio.ceplan.gob.pe>
- Cerrato, J. M., Falkinham, J. O., Dietrich, A. M., Knocke, W. R., McKinney, C. W., & Pruden, A. (2010). Microorganismos oxidantes y reductores de manganeso aislados de biopelículas en sistemas de agua potable clorada. *Water Research*, 44(13), 3935-3945. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.037>
- Cheuvront, S. N., Kenefick, R. W., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2020). Capítulo 30-Agua. En B. P. Marriott, D. F. Birt, V. A. Stallings, & A. A. Yates (Eds.), *Present Knowledge in Nutrition (Eleventh Edition)* (pp. 503-514). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66162-1.00030-5>

- Chiles Arévalo, G. V. (2015). *Evaluación de la calidad y cantidad de agua de las Juntas Administradoras de agua potable del cantón Montúfar para el diseño de un plan mejoramiento y aprovechamiento adecuado* [Tesis de bachiller, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4329>
- Chipana Gutiérrez, R. R. (2021). *La calidad del agua como factor de riesgo para las prestaciones asistenciales en el Hospital Santo Tomás, Chumbivilcas, 2021* [Tesis de Maestría, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75667>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2022). *Los servicios básicos de agua potable y electricidad como sectores clave para la recuperación transformadora en América Latina y el Caribe* [Text]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/enfoques/servicios-basicos-agua-potable-electricidad-como-sectores-clave-la-recuperacion>
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento diseño de plantas potabilizadoras de tecnología simplificada*.
- Constitución Política del Perú, Art. 7-A (1993). 29 de diciembre de 1993 (Perú) <https://www.congreso.gob.pe/Docs/files/documentos/constitucionparte1993-12-09-2017.pdf>
- Corporación Eléctrica Yokogawa. (2014). *Conceptos básicos de ORP*. <https://www.yokogawa.com/library/resources/white-papers/basics-of-orp/>
- Denkhaus, E., & Salnikow, K. (2002). Esencialidad, toxicidad y carcinogenicidad del níquel. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 42(1), 35-56. [https://doi.org/10.1016/S1040-8428\(01\)00214-1](https://doi.org/10.1016/S1040-8428(01)00214-1)
- Dhoke, S. K. (2023). Determinación de la alcalinidad en la muestra de agua: Una aproximación teórica. *Chemistry Teacher International*, 5(3), 283-290. <https://doi.org/10.1515/cti-2022-0052>
- Dozier, M. C., & McFarland, M. (2005). Estándares del agua potable. *AgriLIFE EXTENSION*. https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87331/pdf_2163.pdf
- Escamilla González, D. Y., Molina Arroyo, H. R., López Téllez, M. C., Fernández Crispin, A., & Cantón Juárez, L. D. (2022). Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de los manantiales que conforman “La Ciénega”, San José, Miahuatlán, Puebla, México. *International Meeting of Science and Technology*, 2.
- Fondo para el Logro de los ODM. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. OPS/OMS. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estudio-calidad-fuentes-utilizadas-consumo-humano-plan-mitigacion>

- García, J. L. V. (2019). *Aproximación a una medida para evaluar la higienización del agua*. <https://ewtech.co/wp-content/uploads/2020/07/Art%C3%ADculo-Importancia-del-Potencial-de-Oxido-Reducci%C3%B3n.pdf>
- García, S. L., Arguello, A., Parra, R., & Pilay, M. P. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>
- Gómez Vega, A., Hernández Zárate, G., Járez Yáñez, P., & Hernández González, S. (2017, septiembre 27). *Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México*. (Apan). Reaxión. Revista arbitrada de divulgación científica de la Universidad Tecnológica de León. http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Determinacion_de_hierro_y_manganeso_en_el_agua_subteranea_del_municipio_de_Apan_Hidalgo_Mexico.html
- González Bedoya, M. A. (2015). *Estandarización de las metodologías para el análisis de pH, alcalinidad y turbidez en muestras de agua potable en el laboratorio de la Asociación Municipal de Acueductos Comunitarios de Dosquebradas (AMAC)*. <https://hdl.handle.net/11059/5107>
- Guayubira, G. (2008). *Consumo de agua por forestación agrava sequía*. <http://www.guayubira.org.uy/2008/11/consumo-de-agua-por-forestacion-agrava-sequia/>
- Guillemes Peira, Á. (2015). Desarrollo de un sistema para la desinfección de agua de consumo mediante tratamiento electroquímico. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 19(75), 75-81.
- Guimaraes Pérez, L. X. (2022). Evaluación de la Calidad del agua para consumo humano en el Asentamiento Humano San Isidro, Callería-Ucayali, 2020. *Universidad Nacional de Ucayali*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5194>
- Hanna Instruments. (2022). *¿Sabías qué existen diferentes tipos de cloro?* <https://www.hannainst.es/blog/1572/Sabias-que-existen-diferentes-tipos-de-cloro>
- Holler, J., & Crouch, S. R. (2015). *Fundamentos de química analítica* (Novena edición). Cengage Learning. <https://es.slideshare.net/KeniaDiaz26/fundamentos-de-qumica-analticapdf>
- Hunt, M., Herron, E., & Green, L. (2012). Chlorides in fresh water [Cloruros en agua dulce]. *The University of Rhode Island*, 1-4.
- Instituto Nacional de Estadística e informática. (2020). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico* (p. 70). INEI. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf

- Instituto Nacional de Estadística e informática. (2023). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. INEI. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5625702/4985657-peru-formas-de-acceso-al-agua-y-saneamiento-basico-nro-10.pdf>
- Jácome Yáñez, J. A. (2014). *Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en matrices de agua clara y residual en el centro de investigaciones y control ambiental "CICAM"*.
- Julián Soto, F. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 11(2), 167-177. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2010.11n2.014>
- Kalaitzidou, K., Ntona, M. M., Zavridou, E., Tzeletas, S., Virgiliou, C., & Mitrakas, M. (2023). Evaluación de la calidad del agua subterránea y de embalses: Aplicación del índice de calidad del agua a los sitios de estudio en Grecia. *Water*, 15(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/w15234170>
- Khatri, N., Tyagi, S., & Rawtani, D. (2017). Recent strategies for the removal of iron from water: A review [Estrategias recientes para la eliminación del hierro del agua: una revisión]. *Journal of Water Process Engineering*, 19, 291-304. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.08.015>
- Kouzbour, S., El Azher, N., Gourich, B., Gros, F., Vial, C., & Stiriba, Y. (2017). Eliminación de manganeso (II) del agua potable mediante un proceso de aireación utilizando un reactor airlift. *Journal of Water Process Engineering*, 16, 233-239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.01.010>
- Laubitz, D., Ghishan, F. K., & Kiela, P. R. (2017). Capítulo 40—Sodio: Aspectos nutricionales básicos. En J. F. Collins (Ed.), *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals* (pp. 489-501). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802168-2.00040-3>
- Laulicht, F., Brocato, J., Ke, Q., & Costa, M. (2015). Carcinogenicidad de compuestos metálicos. En G. F. Nordberg, B. A. Fowler, & M. Nordberg (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 351-378). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00018-4>
- Lawler, D. M. (2005). SPECTROPHOTOMETRY | Turbidimetry and Nephelometry. En P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)* (pp. 343-351). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00718-4>
- Loaiza Londoño, A. (2017). *Consecuencias del crecimiento poblacional humano sobre el recurso hídrico en la zona urbana del municipio de Rionegro-Antioquia* [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2905>

- Marambio, M. C. (2012). Fundamentos y alcance del régimen de la Convención de Ginebra sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia de 1979 [Ph.D. Thesis, Universitat Rovira i Virgili]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/101529>
- Martínez de Victoria, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 33, 26-31. <https://doi.org/10.20960/nh.341>
- MINAM. (2017). *Decreto Legislativo N° 1055*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3619-1055>
- Ministerio de la Salud. (2010). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano decreto supremo N.° 031-2010-SA*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Ministerio de Salud. (2010). *Guía técnica "procedimiento de toma de muestra del agua de mar en playas de baño y recreación"*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-tecnica-procedimiento-toma-muestra-agua-mar-playas-bano>
- Mkwate, R. C., Chidya, R. C. G., & Wanda, E. M. M. (2017). Evaluación de la calidad del agua potable y el tratamiento del agua en hogares rurales en el distrito de Balaka, Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 100, 353-362. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.006>
- Nava Tovar, G. (Ed.). (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo para análisis de laboratorio: Artículo 27 del decreto 1575 de 2007*.
- Noulas, C., Tziouvalekas, M., & Karyotis, T. (2018). Zinc en suelos, agua y cultivos alimentarios. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49, 252-260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>
- Oblitas de Ruíz, L. (2010). Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: Beneficios potenciales y determinantes de éxito. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4448>
- Oblitas de Ruiz, L. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: Beneficios potenciales y determinantes de éxito*.
- Olesik, J. W. (2014). Espectrómetros de masas de plasma acoplado inductivamente. En H. D. Holland & K. Turekian (Eds.), *Treatise on Geochemistry (Second Edition)* (pp. 309-336). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01426-1>
- OMS. (1971, enero 1). *Normas internacionales para el agua potable, tercera edición*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9241540249>
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>

- Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *World Population Prospects 2019 Highlights*. [Perspectivas demográficas mundiales: aspectos destacados del 2019]. ST/ESA/SER.A/423.
- Organización Internacional de Normalización o Estandarización. (2015). *Guía ISO 30:2015-Materiales de referencia-Términos y definiciones seleccionados*.
https://webstore.ansi.org/standards/iso/isoguide302015?source=blog&_gl=1*10sd5lz*_gcl_au*MTA3NTM4OTYzMy4xNzA2OTE2NzEz
- Organización Mundial de la Salud. (2003). *Sodio en el agua potable*. Saneamiento del agua y la salud.
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/chemical-hazards-in-drinking-water/sodium>
- Organización Mundial de la Salud. (2017a). *Calidad del agua y salud: Revisión de la turbidez*.
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-WSH-17.01>
- Organización Mundial de la Salud. (2017b). *Enfermedades diarreicas*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Cuarta edición). Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/272403>
- Organización Mundial de la Salud. (2023a). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2023b, julio 20). *Hepatitis A*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a>
- Organización Mundial de la Salud, & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, según UNICEF y la OMS*.
<https://www.who.int/es/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water---unicef-who>
- Patel, H., & Vashi, R. T. (2015). Chapter 6-Use of Naturally Prepared Coagulants for the Treatment of Wastewater from Dyeing Mills [Capítulo 6-Uso de coagulantes preparados naturalmente para el tratamiento de aguas residuales de fábricas de teñido]. En *Characterization and Treatment of Textile Wastewater* (pp. 147-158). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802326-6.00006-X>
- Peralta Izarra, P. (2013). *El agua en el Perú: Pasado, presente y futuro*. 5.

- Pérez, E. (2014). Idoneidad del método de análisis de magnesio en agua potable por absorción atómica con curva de calibración cuadrática. *Tecnología en Marcha*; Vol. 27, Núm. 4 (2014); pág. 22-29. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/4290>
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, Vol. 29(N.º 3), 3-14. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Perez, M. M. (2021). *Determinación de la calidad de agua para consumo humano en el valle de Vitor, Arequipa durante los meses de agosto—Octubre del 2019* [Tesis de bachiller, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12865>
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Presidencia de la República del Perú. (2021). *Decreto supremo-N.º 016-2021-Vivienda, construcción y saneamiento. Decreto supremo que aprueba el texto único ordenado del reglamento del decreto legislativo N.º 1280, decreto legislativo que aprueba la ley marco de la gestión y prestación de los servicios de saneamiento, aprobado por decreto supremo N.º 019-2017-Vivienda*. <http://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1986589-3>
- Presidencia de la República del Perú. (2023). *Decreto legislativo que modifica el decreto legislativo n° 1280, decreto legislativo que aprueba la ley marco de la gestión y prestación de los servicios de saneamiento*. 21.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2009). *Viene de las alturas: Disponibilidad y usos del agua*. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/pe/parte2-cap3.pdf>
- Programa Modernización y Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento (PROAGUA II). (2017). *Manual para la cloración de agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf
- Pu, F., Chen, N., & Xue, S. (2016). Ingesta de calcio, homeostasis del calcio y salud. *Food Science and Human Wellness*, 5(1), 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.01.001>
- Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J., & Johnson, K. M. (2009). Capítulo 11—Desinfección del agua. En *Water Supply (Sixth Edition)* (pp. 425-461). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6843-9.00019-6>
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *Análisis del agua* (Novena edición). Omega.

- Rusydi, A. F. (2018). Correlación entre conductividad y sólidos disueltos totales en varios tipos de agua: Una revisión. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>
- Salas Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: Situación actual. *Nutrición Hospitalaria*, 37(5), 1072-1086. <https://doi.org/10.20960/nh.03160>
- Sánchez, R., Benavides, C., Chaves, M., & Quirós, J. (2020). Calidad del agua para consumo humano en una comunidad rural: Caso Corral de Piedra, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(2), 3-16. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4165>
- Sarmiento, M. (2007). *Estudio de la contaminación por drenajes ácidos de mina de las aguas superficiales en la cuenca del río Odiel (SO España)*. Universidad de Huelva. <https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/7629>
- Sawka, M., Cheuvront, S., & Carter, R. (2005). Necesidades humanas de agua. *Nutrition reviews*, 63, S30-9. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2005.tb00152.x>
- Schroeder, E. D. (2003). Water Resources. En R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)* (pp. 721-751). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00821-8>
- Senthil Kumar, P., & Yaashikaa, P. R. (2019). Introducción-agua. En S. S. Muthu (Ed.), *Water in Textiles and Fashion* (pp. 1-20). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102633-5.00001-4>
- Sereshti, H., Vasheghani Farahani, M., & Baghdadi, M. (2016). Determinación de trazas de cromo (VI) en muestras de agua ambiental utilizando un innovador adsorbente de SiO₂ modificado con grafeno térmicamente reducido (TRG) para extracción en fase sólida y espectrofotometría UV-vis. *Talanta*, 146, 662-669. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.051>
- Shah, A., Arjunan, A., Baroutaji, A., & Zakharova, J. (2023). Una revisión de los contaminantes fisicoquímicos y biológicos en el agua potable y sus impactos en la salud humana. *Water Science and Engineering*, 16(4), 333-344. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.04.003>
- Singh Sankhla, M., Kumar, R., & Prasad, L. (2019). Impureza de zinc en el agua potable y su efecto tóxico sobre la salud humana. 17, 84. <https://doi.org/10.5958/0974-4487.2019.00015.4>
- Soto Félix, J. (2009). *Water Hardness as Basic Indicator the Presence Fouling in Domestic Sanitary Facilities*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v11n2/v11n2a4.pdf>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2004). *La calidad del agua potable en el Perú*. Tarea Gráfica. <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/Jica-2004.pdf>

- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2020). *Empresas prestadoras de servicios de saneamiento-Sunass*. <https://www.sunass.gob.pe/prestadores/empresas-prestadoras/>
- Torres Fernandez, T., & Coronación Palomino, M. I. (2021). *Calidad de agua para consumo humano en los centros poblados de Pueblo Libre y Pampachacra*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3762>
- Traven, L., Marinac-Pupavac, S., Žurga, P., Linšak, Ž., Žeželj, S. P., Glad, M., Linšak, D. T., & Cenov, A. (2023). Arsénico (As), cobre (Cu), zinc (Zn) y selenio (Se) en los mariscos del noroeste de Croacia: Evaluación de los riesgos para la salud. *Toxicology Reports*, 11, 413-419. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.10.012>
- Trick, J. K., Stuart, M., & Reeder, S. (2018). Capitulo 3-Muestreo de aguas subterráneas contaminadas y control de calidad de análisis de agua. En B. De Vivo, H. E. Belkin, & A. Lima (Eds.), *Environmental Geochemistry (Second Edition)* (pp. 25-45). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63763-5.00004-5>
- Vitoria, I., Maraver, F., Ferreira Pêgo, C., Armijo, F., Moreno Aznar, L., & Salas Salvadó, J. (2014). Calcio en el agua de consumo publico y aguas minerales naturales en España y su contribución en cubrir las necesidades nutricionales. *Nutrición Hospitalaria*, 30(1), 188-199. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.1.7491>
- Wang, H., & Zhang, Q. (2019). Avances en la investigación para identificar fuentes de contaminación por sulfatos en el medio acuático mediante el uso de isótopos estables. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11), 1914. <https://doi.org/10.3390/ijerph16111914>
- Wutich, A., Rosinger, A. Y., Stoler, J., Jepson, W., & Brewis, A. (2020). Medición de las necesidades humanas de agua. *American Journal of Human Biology*, 32(1), e23350. <https://doi.org/10.1002/ajhbm.23350>
- Yan, W., Li, J., & Bai, X. (2016). Evaluación integral y monitoreo visualizado de la calidad del agua potable urbana. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 155, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.026>

ANEXOS

ANEXO 1

Muestreo y determinación de parámetros in situ en la captación de la JASS Soñaque en compañía del gasfitero de dicha junta



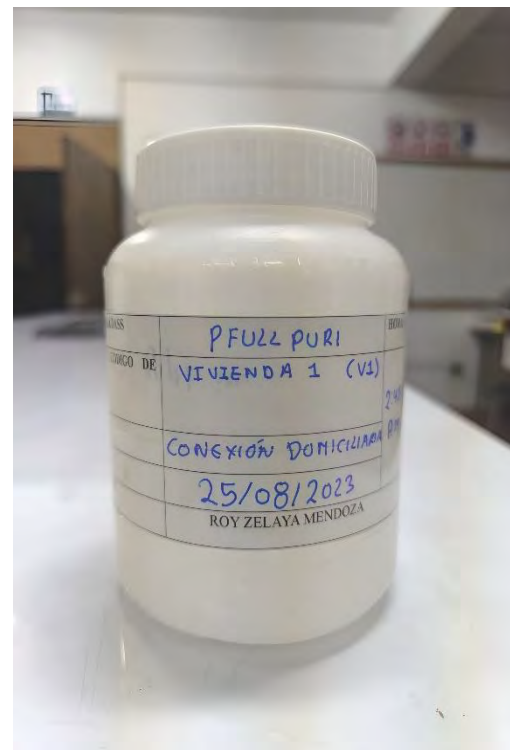
ANEXO 2

Etapas para la determinación de acidez, alcalinidad, cloruros y dureza total en muestras de agua



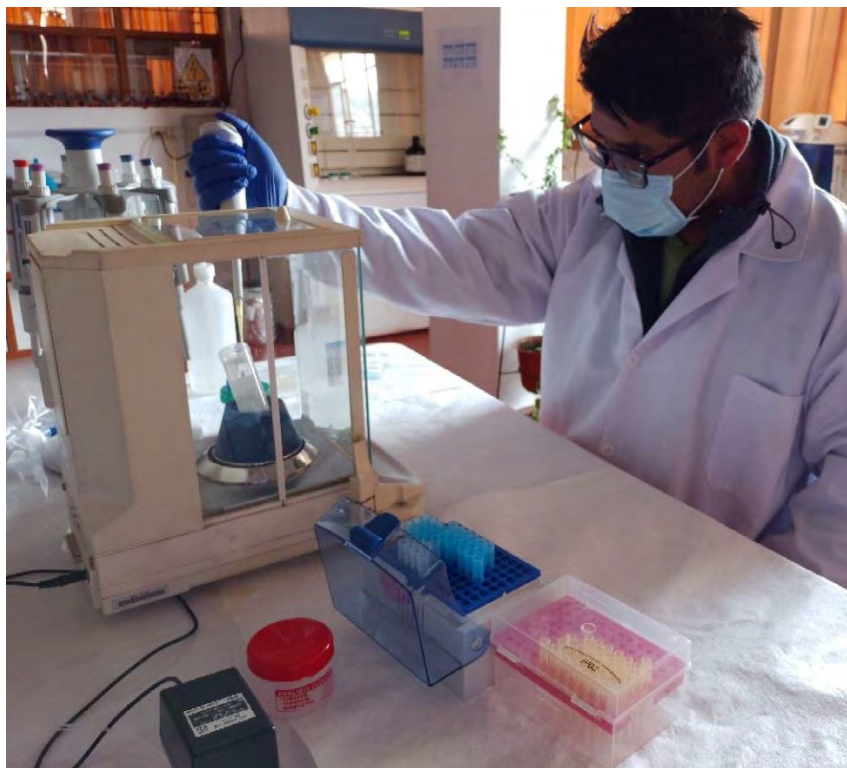
ANEXO 3

Rotulado de frascos recolectados para la determinación de parámetros fisicoquímicos y análisis multielemental




ANEXO 4

Preparación de estándares y determinación multielemental en las muestras de agua



ANEXO 5

Certificado de análisis del MRC “estándar de hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn)”

 **Agilent**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: Iron AA Standard: 1000 µg/mL Fe in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8286
Lot No: 0994438159

Product Specifications

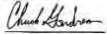
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Fe	Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	7782-61-8	5% HNO ₃	1000 ± 3 µg/mL (w/v) 999 ± 3 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.


Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure iron nitrate nonahydrate [Fe(NO₃)₃·9H₂O] dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3126a, lot #140812. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferrers, (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container, (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL, (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes, (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM, and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (16.30.60). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Gaudreau, Certifying Officer

Date of release: 13 May 2019
Date of expiration: 24 March 2021

 **Agilent**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: Copper AA Standard: 1000 µg/mL Cu in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8280
Lot No: 0101560217

Product Specifications

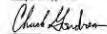
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Cu	Cu	7440-50-8	5% HNO ₃	991 ± 3 µg/mL (w/v) 984 ± 3 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.


Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure copper (Cu) metal dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3114, lot #121267. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent Technologies recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferrers, (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container, (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL, (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes, (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM, and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (16.30.60). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent Technologies ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Gaudreau, Certifying Officer

Date of release: 13 June 2019
Date of expiration: 6 March 2021

 **Agilent**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: Zinc AA Standard: 1000 µg/mL Zn in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8326
Lot No: 0100792233

Product Specifications

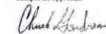
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Zn	Zn	7440-66-8	5% HNO ₃	1000 ± 2 µg/mL (w/v) 996 ± 2 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.

Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure zinc (Zn) metal dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3168a, lot #120629. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferrers, (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container, (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL, (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes, (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM, and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (16.30.60). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.


Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Gaudreau, Certifying Officer

Date of release: 13 March 2019
Date of expiration: 2 July 2022

ANEXO 6

Certificado de análisis del MRC “estándar de aluminio (Al), plomo (Pb) y cromo (Cr)”

 **CERTIFICATE OF ANALYSIS**

Agilent Product Name: Aluminum AA Standard: 1000 µg/mL Al in 5% HCl
Agilent Part No: 5190-8276
Lot No: 010418223

Product Specifications

Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Al	Al	7429-90-5	5% HCl	999 ± 5 µg/mL (w/v) 992 ± 5 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.

Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure aluminum (Al) metal dissolved in high purity hydrochloric acid (HCl) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3101a, lot #140803. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.


Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferware; (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container; (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL; (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes; (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM; and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (18-20.60). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Goudreau, Certifying Officer

Date of release: 19 February 2019
 Date of expiration: 7 June 2021

 **CERTIFICATE OF ANALYSIS**

Agilent Product Name: Lead AA Standard: 1000 µg/mL Pb in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8288
Lot No: 098329184

Product Specifications


Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Pb	Pb	7439-92-1	5% HNO ₃	1000 ± 2 µg/mL (w/v) 1003 ± 2 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.


Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure lead (Pb) metal dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 312a, lot #101026. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferware; (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container; (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL; (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes; (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM; and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (18-20.60). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Goudreau, Certifying Officer

Date of release: 20 August 2018
 Date of expiration: 19 June 2021

 **CERTIFICATE OF ANALYSIS**

Agilent Product Name: Chromium AA Standard: 1000 µg/mL Cr in 5% HCl
Agilent Part No: 5190-8276
Lot No: 010418222

Product Specifications

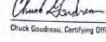
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Cr	Cr	7440-47-3	5% HCl	1004 ± 3 µg/mL (w/v) 994 ± 3 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.

Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure chromium (Cr) metal dissolved in high purity hydrochloric acid (HCl) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 312a, lot #102070. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferware; (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container; (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL; (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes; (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM; and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (18-20.60). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.


Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Goudreau, Certifying Officer

Date of release: 14 June 2019
 Date of expiration: 10 July 2021

ANEXO 7

Certificado de análisis del MRC “estándar de níquel (Ni), bario (Ba) y manganeso (Mn)”

 **Agilent**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: Nickel AA Standard: 1000 µg/mL Ni in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8299
Lot No: 0098427378

Product Specifications

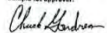
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Ni	Ni	7440-02-0	5% HNO ₃	1003 ± 4 µg/mL (w/v) 996 ± 4 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.


Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure nickel (Ni) metal dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3136, lot #110018. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferware, (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container, (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL, (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes, (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM, and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (10-30 °C). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Goudreau, Certifying Officer

Date of release: 24 October 2018
 Date of expiration: 19 February 2021

 **Agilent**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: Barium AA Standard: 1000 µg/mL Ba in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8293
Lot No: 0098463476

Product Specifications

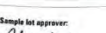
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Ba	Ba(NO ₃) ₂	10022-31-8	5% HNO ₃	1002 ± 3 µg/mL (w/v) 998 ± 3 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.


Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.999% pure barium nitrate [Ba(NO₃)₂] dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3104a, lot #140909. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferware, (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container, (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL, (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes, (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM, and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (10-30 °C). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Goudreau, Certifying Officer

Date of release: 6 December 2018
 Date of expiration: 1 July 2021

 **Agilent**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: Manganese AA Standard: 1000 µg/mL Mn in 5% HNO₃
Agilent Part No: 5190-8294
Lot No: 009748789

Product Specifications

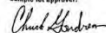
Analyte	Starting Material	CAS #	Matrix	Certified Concentration
Mn	Mn	7439-96-5	5% HNO ₃	1000 ± 6 µg/mL (w/v) 995 ± 6 µg/g (w/w)

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for atomic absorption spectroscopy (flame AAS or graphite furnace AAS), and other techniques for elemental analysis.

Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025, and registered to ISO 9001. This CRM was prepared to a nominal concentration of 1000 µg/mL by gravimetric methods using 99.98% pure manganese (Mn) metal dissolved in high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with ASTM Type I Water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentration and uncertainty were determined using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and both the certified concentration and uncertainty values are traceable to NIST SRM 3132, lot #050429. The uncertainty associated with the certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

Instructions for Use: Agilent recommends that the solution be thoroughly mixed by repeated shaking or swirling of the bottle immediately prior to use. To achieve the highest accuracy the analyst should: (1) use only pre-cleaned containers and transferware, (2) avoid pipetting directly from the CRM's original container, (3) use a minimum sub-sample size of 500 µL, (4) make dilutions using calibrated balances or certified volumetric class A flasks and pipettes, (5) dilute to volume using the same matrix as the original CRM, and (6) never pour used product back into the original container. The solution should be kept tightly capped. Store at controlled room temperature per USP 35 (10-30 °C). Do not freeze, heat, or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

Period of Validity: Agilent ensures the accuracy of this solution until the expiration date shown below, provided the instructions for use are followed. During the period of validity, the purchaser will be notified if this product is recalled due to any significant changes in the stability of the solution.

Sample lot approval:

 Chuck Goudreau, Certifying Officer

Date of release: 4 February 2019
 Date of expiration: 23 April 2021

ANEXO 8

Certificado de material de referencia de matriz para agua potable “ERA a waters company”



A Waters Company

Certified Reference Material

• Certificate of Analysis •

Product: WatR™ Supply Metals
Catalog Number: 697
Lot No: S316-697
Certificate Issue Date: January 24, 2023
Expiration Date: March 08, 2026
Revision Number: Original

Product use instructions are included as part of the certification packet and are posted separately from this Certificate of Analysis. Please reference the product use instructions for catalog #697 revision 090119.

CERTIFICATION

Parameter	Certified Value ¹	Uncertainty ²	QC Performance Acceptance Limits ³	PT Performance Acceptance Limits ⁴
	µg/L	%	µg/L	µg/L
Aluminum	376	2.70	326 - 425	301 - 451
Antimony	28.8	1.55	24.0 - 34.0	20.2 - 37.4
Arsenic	28.9	4.74	24.4 - 32.9	20.2 - 37.6
Barium	1190	1.42	1070 - 1300	1010 - 1370
Beryllium	12.9	3.56	11.0 - 14.8	10.1 - 14.8
Boron	911	1.68	809 - 1000	774 - 1050
Cadmium	35.9	2.12	31.2 - 39.1	28.7 - 43.1
Chromium	169	1.81	151 - 186	144 - 194
Copper	1300	1.60	1170 - 1420	1170 - 1430
Iron	1740	2.18	1540 - 1930	1480 - 2000
Lead	18.6	2.99	16.2 - 21.0	13.0 - 24.2
Manganese	474	1.28	435 - 521	403 - 545
Molybdenum	62.0	2.05	54.1 - 68.2	52.7 - 71.3
Nickel	403	1.20	361 - 439	343 - 463
Selenium	78.8	4.93	66.4 - 90.6	63.0 - 94.6
Silver	146	2.57	130 - 161	102 - 190
Thallium	5.61	1.78	4.53 - 6.68	3.93 - 7.29
Vanadium	928	2.24	847 - 993	789 - 1070
Zinc	991	2.20	900 - 1090	842 - 1140

Page 1 of 3 Lot: S316-697

16341 Table Mountain Pkwy • Golden, CO 80403 • T: 800.372.0122 • 303.431.8454 • www.eraqc.com

Certified Reference Material

• Certificate of Analysis •

ANALYTICAL VERIFICATION

Parameter	Certified Value ¹	Proficiency Testing Study	MIST Traceability
	µg/L	Mean Recovery ³	n SRM Number ⁴ Recovery
Aluminum	376	387 103	12 3101a 101
Antimony	28.8	28.6 99.4	13 3102a 91.8
Arsenic	28.9	28.9 100	16 3103a 99.5
Barium	1190	1190 99.8	13 3104a 101
Beryllium	12.9	12.5 97.0	11 3105a 96.6
Boron	911	919 101	7 3107 96.5
Cadmium	35.9	35.3 98.2	15 3108 99.7
Chromium	169	168 99.3	15 3112a 100
Copper	1300	1270 98.0	24 3114 104
Iron	1740	1670 96.0	20 3126a 98.8
Lead	18.6	18.9 102	17 3128 97.9
Manganese	474	454 95.8	24 3132 99.7
Molybdenum	62.0	59.6 96.0	10 3134 100
Nickel	403	406 101	17 3136 99.7
Selenium	78.8	78.5 99.6	13 3149 100
Silver	146	141 96.0	10 3151 101
Thallium	5.61	5.28 94.1	8 3158 99.3
Vanadium	928	887 95.5	7 3165 98.5
Zinc	991	993 100	17 3168a 103

Page 2 of 3 Lot: S316-697

16341 Table Mountain Pkwy • Golden, CO 80403 • T: 800.372.0122 • 303.431.8454 • www.eraqc.com



A Waters Company

Certified Reference Material

• Certificate of Analysis •

1. The Certified Values are the actual gravimetric/analytical "true" concentrations confirmed by ERA analytical verification. The certified values are maintained and purchasers will be notified of any significant changes resulting in recertification or withdrawal of the certified reference material during the period of validity of the certificate.

2. The Uncertainty represents an expanded uncertainty and approximates a 95% confidence interval. The uncertainty is based on the characterisation, homogeneity and quality characteristics of the product, multiplied by a coverage factor (k=2). The uncertainty applies to the product as supplied and does not take into account any required or optional dilution and/or preparation of the laboratory may perform while using the product. The formula used to calculate the expanded uncertainty is:

$$U_{expanded} = k \cdot \sqrt{(U_{certified})^2 + (k \cdot U_{PT})^2 + (k \cdot U_{SRM})^2 + (U_{SRM})^2}$$

Where:

Uncertainties = Expanded uncertainty.

k = Coverage factor

U_{certified} = Certified standard uncertainty of the manufacturing and/or analytical verification assessment.

U_{homogeneity} = Standard uncertainty of the homogeneity assessment.

U_{PT} = Standard uncertainty associated with long term stability.

U_{SRM} = Standard uncertainty associated with short-term (long-term) stability.

U_{SRM} = Standard uncertainty associated with repeated sampling of the product before permitted by product use instructions.

3. The QC Performance Acceptance Limits (QC PALs™) are based on actual historical data collected in ERA's Proficiency Testing program. The QC PALs™ reflect any inherent biases in the methods used to establish the limits and closely approximate a 95% confidence interval of the performance that experienced laboratories should achieve using accepted environmental methods. Use the QC PALs™ to statistically evaluate your performance against your peers.

4. The PT Performance Acceptance Limits (PT PALs™) are calculated using the regression equation and fixed acceptance criteria specified in the NELAP proficiency testing requirements. Use the PT PALs™ when analyzing the certified reference material alongside USEPA and NELAP compliant PT study materials. Please note that many PT study acceptance limits are concentration dependent (some non-linear) and therefore, the acceptance limits of the certified reference material and any PT study material may differ relative to their difference in concentrations.

5. The PT Performance Data include the mean value, percent recovery and number of data points reported by laboratories in our Proficiency Testing study completed in the Certified Value. In the event this data is not used in a proficiency testing scheme, the data disclosed was generated manually by ERA.

6. Where MIST Standard Reference Materials (SRMs) are available, each sample has been analytically traced to the NIST SRM based Analytical Traceability Recovery (TR) ± 1% recovery. ERA certified reference materials recovery MIST SRM/100. The recovery rate error were compared for analyzing the ERA certified reference material and/or a laboratory's recovery against the approved MIST SRM.

7. Microbial Traceability: This certified reference material is microbially traceable to NIST traceable material through an unknown chain of comparison.

8. For additional information on this product such as intended use, storage information, instructions for use, minimum sample size, and safety information, please refer to the Product Use Instructions provided.

If you have any questions or need technical assistance, please call ERA technical assistance at 1-800-372-0122 or send an email to info@eraqc.com.

Certifying Officer

Brian Miller

Brian Miller

Senior Technical Manager

Craig Hull

Craig Hull



A Waters Company

Page 3 of 3 Lot: S316-697

16341 Table Mountain Pkwy • Golden, CO 80403 • T: 800.372.0122 • 303.431.8454 • www.eraqc.com

ANEXO 9

Certificado de "Solución estándar multielemental I"



This certificate is designed in accordance with ISO Guide 31¹¹.

Object of certification: **Multielement standard solution 1 for ICP**

Product No.: 90243 Lot: BCCB6994

Composition: High-purity starting materials in 10% HNO₃ (prepared with high purity water, 18.2 MΩ·cm, 0.22 μm filtered, and acid suitable for trace analysis).

Density at 20°C: ρ = 1056.3 kg m⁻³ u_m(ρ) = 0.5 kg m⁻³

Intended use: Calibration of ICP, AAS, spectrophotometry or any other analytical technique.

Storing and handling: This reference material shall be stored between 5°C and 30°C. The bottle's temperature must be 20°C and shaken well before every use. If storage of a partially used bottle is necessary, the cap should be tightly sealed and the bottle should be stored at reduced temperature (e.g. refrigerator) to minimize transpiration rate.

Expiry date: MAY 2023

Certificate issue date: 17 JUL 2019

Certificate version: 01

Bottle opening date:

Certified value traceable to SI unit kg and uncertainty according to ISO Guide 35 ¹² and Eurachem/CITAC Guide ¹³			
Constituent	Certified values at 20°C and expanded uncertainty [U = k·u _c ; k = 2]		
Aluminum (Al)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.3 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.3 mg L ⁻¹	
Barium (Ba)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Bismuth (Bi)	94.7 mg kg ⁻¹ ± 0.3 mg kg ⁻¹	100.0 mg L ⁻¹ ± 0.3 mg L ⁻¹	
Boron (B)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.1 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.1 mg L ⁻¹	
Cadmium (Cd)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Calcium (Ca)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Chromium (Cr)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.2 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.2 mg L ⁻¹	
Cobalt (Co)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Copper (Cu)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Iron (Fe)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Lead (Pb)	94.7 mg kg ⁻¹ ± 0.3 mg kg ⁻¹	100.0 mg L ⁻¹ ± 0.3 mg L ⁻¹	
Lithium (Li)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.3 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.3 mg L ⁻¹	
Magnesium (Mg)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.04 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.04 mg L ⁻¹	
Manganese (Mn)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.04 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.05 mg L ⁻¹	
Molybdenum (Mo)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.2 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.3 mg L ⁻¹	

Certificate page 1 of 4

Sigma-Aldrich Production GmbH, Industriestrasse 25, 9471 Buchen/Schwabenland, Tel +41-81-758-2511, Fax +41-81-758-5449

SIGMA-ALDRICH

Certified value traceable to SI unit kg and uncertainty according to ISO Guide 35 ¹² and Eurachem/CITAC Guide ¹³			
Constituent	Certified values at 20°C and expanded uncertainty [U = k·u _c ; k = 2]		
Nickel (Ni)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.1 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.1 mg L ⁻¹	
Potassium (K)	94.7 mg kg ⁻¹ ± 0.3 mg kg ⁻¹	100.0 mg L ⁻¹ ± 0.3 mg L ⁻¹	
Silver (Ag)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Sodium (Na)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.1 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.1 mg L ⁻¹	
Strontium (Sr)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	
Thallium (Tl)	47.3 mg kg ⁻¹ ± 0.1 mg kg ⁻¹	50.0 mg L ⁻¹ ± 0.1 mg L ⁻¹	
Zinc (Zn)	9.47 mg kg ⁻¹ ± 0.03 mg kg ⁻¹	10.00 mg L ⁻¹ ± 0.03 mg L ⁻¹	

1. CONCEPT OF CERTIFICATION AND TRACEABILITY STATEMENT

To guarantee top reliability of the values for this TraceCERT[®] certified reference material two independent procedures were followed. The values have to agree in the range of their uncertainties, but the value from the gravimetric preparation has been chosen as certified value¹⁴.

- Gravimetric preparation using pure materials is a practical realization of concentration units, through conversion of mass to amount of substance¹⁵. If the purity of the materials is demonstrated and if contamination and loss of material is strictly prevented this approach allows highest accuracy and small uncertainties. The certified value of TraceCERT[®] reference materials is based on this approach and directly traceable to the SI unit kilogram. Therefore comprehensively characterized materials of high purity are used. All balances are certified by DKD and calibrated with OIML Class E2 (up to 12 kg) and F2 (up to 64 kg) weights.
- The starting material is measured against a certified reference material (i.e. NIST or BAM) followed by gravimetric preparation using balances calibrated with SI-traceable weights. Consequently the value calculated by this unbroken chain of comparisons is traceable to the reference to which the starting material is compared.

2. CONTENT OF STARTING MATERIALS

For high purity materials (P > 99.9%) the most appropriate way of purity determination is to quantify the impurities (w_i) and to subtract the sum from 100%. Impurities below the detection limit are considered with a contribution of half of the detection limit (DL).

$$P = 100\% - \sum_i w_i - \sum_j \left(\frac{DL_j}{2} \right)$$

Water containing materials were dried to absolute dryness by individual drying conditions (up to 600°C). When drying is impossible due to decomposition water was determined by high-precision KF-titration.

Certificate page 2 of 4

Sigma-Aldrich Production GmbH, Industriestrasse 25, 9471 Buchen/Schwabenland, Tel +41-81-758-2511, Fax +41-81-758-5449

SIGMA-ALDRICH

ANEXO 10

Estándar multielemental con certificación ISO 9001, ISO 17034/IES Agilent



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Agilent Product Name: IntelliQuant Multi-element Standard #1

Agilent Part No: 5190-9422

Lot No: 011006016

Product Specifications

Analyte	Starting Material	CAS #	Certified Conc.	Analyte	Starting Material	CAS #	Certified Conc.
Al	Al(NO ₃) ₃	7784-27-2	100.0 ± 0.5 µg/mL	Lu	Lu ₂ O ₃	12032-20-1	100.0 ± 0.5 µg/mL
As	As	7440-38-2	100.0 ± 0.5 µg/mL	Mg	Mg	7439-95-4	100.0 ± 0.5 µg/mL
B	H ₃ BO ₃	10043-35-3	100.0 ± 0.5 µg/mL	Mn	Mn	7439-96-6	100.0 ± 0.5 µg/mL
Ba	Ba(NO ₃) ₂	10022-31-8	100.0 ± 0.5 µg/mL	Na	Na ₂ CO ₃	497-19-8	99.99 ± 0.50 µg/mL
Be	Be ₂ O(C ₂ H ₃ O ₂) ₃	19049-40-2	100.0 ± 0.5 µg/mL	Nd	Nd ₂ O ₃	1313-97-9	100.0 ± 0.5 µg/mL
Bi	Bi	7440-69-9	100.0 ± 0.5 µg/mL	Ni	Ni	7440-02-0	100.0 ± 0.5 µg/mL
Ca	CaCO ₃	471-34-1	100.0 ± 0.5 µg/mL	P	H ₃ PO ₄	7664-38-2	99.99 ± 0.50 µg/mL
Cd	Cd	7440-43-9	100.0 ± 0.5 µg/mL	Pb	Pb	7439-92-1	100.0 ± 0.5 µg/mL
Ce	Ce	7440-45-1	100.0 ± 0.5 µg/mL	Pr	Pr ₆ O ₁₁	12037-29-5	100.0 ± 0.5 µg/mL
Co	Co	7440-48-4	100.0 ± 0.5 µg/mL	Rb	Rb ₂ CO ₃	584-09-8	100.0 ± 0.5 µg/mL
Cr	Cr(NO ₃) ₃	13548-38-4	100.0 ± 0.5 µg/mL	Re	Re	7440-15-5	100.0 ± 0.5 µg/mL
Cs	Cs ₂ CO ₃	534-17-8	100.0 ± 0.5 µg/mL	Sc	Sc ₂ O ₃	256652-08-1	100.0 ± 0.5 µg/mL
Cu	Cu	7440-50-8	100.1 ± 0.5 µg/mL	Se	Se	7782-49-2	100.0 ± 0.5 µg/mL
Dy	Dy ₂ O ₃	1308-87-8	100.0 ± 0.5 µg/mL	Sm	Sm ₂ O ₃	509148-61-2	99.99 ± 0.50 µg/mL
Er	Er ₂ O ₃	12061-16-4	100.0 ± 0.5 µg/mL	Sr	Sr(NO ₃) ₂	10042-76-9	100.0 ± 0.5 µg/mL
Eu	Eu ₂ O ₃	1308-96-9	100.0 ± 0.5 µg/mL	Tb	Tb ₄ O ₇	12037-01-3	100.0 ± 0.5 µg/mL
Fe	Fe ₂ (NO ₃) ₆ · 9H ₂ O	7782-61-8	100.0 ± 0.5 µg/mL	Ti	Ti(NO ₃) ₄	13823-23-0	100.0 ± 0.5 µg/mL
Ga	Ga	7440-55-3	100.0 ± 0.5 µg/mL	Tl	Tl	7440-28-0	100.0 ± 0.5 µg/mL
Gd	Gd ₂ O ₃	12064-62-9	100.0 ± 0.5 µg/mL	Tm	Tm ₂ O ₃	12036-44-1	100.0 ± 0.5 µg/mL
Ho	Ho ₂ O ₃	12055-62-8	100.0 ± 0.5 µg/mL	U	U ₃ O ₈	1344-59-8	100.0 ± 0.5 µg/mL
In	In	7440-74-6	100.0 ± 0.5 µg/mL	V	V ₂ O ₅	1314-62-1	100.0 ± 0.5 µg/mL
K	KNO ₃	7757-79-1	100.0 ± 0.5 µg/mL	Y	Y ₂ O ₃	1314-36-9	100.0 ± 0.5 µg/mL
La	La ₂ O ₃	162525-16-8	100.0 ± 0.5 µg/mL	Yb	Yb ₂ O ₃	1314-37-0	100.0 ± 0.5 µg/mL
Li	Li ₂ CO ₃	554-13-2	100.0 ± 0.5 µg/mL	Zn	Zn	7440-66-6	100.0 ± 0.5 µg/mL

Matrix: 5% HNO₃

Intended Use: This solution is intended for use as a certified reference material or calibration standard for inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), atomic absorption spectroscopy (flame AAS or GFAAS), microwave plasma atomic emission spectroscopy (MP-AES), and other techniques for elemental analysis.

Certification & Traceability: This CRM was manufactured under a quality management system that is accredited to **ISO 17034, ISO/IEC 17025**, and registered to **ISO 9001**. This CRM was prepared to the certified concentrations shown above by gravimetric methods using single-element concentrates that were certified using the "High Performance ICP-OES" protocol developed by NIST and are directly traceable to the NIST SRMs listed below. This solution was stabilized using high purity nitric acid (HNO₃) and diluted with filtered (0.22µm), 18 M-ohm deionized water. The balances used in the preparation of this CRM are calibrated regularly with traceability to NIST. All volumetric dilutions are performed in Class A calibrated glassware. The certified concentrations were determined based upon gravimetric procedures. Secondary verification of the certified concentrations was performed using ICP-OES that was calibrated and/or referenced against NIST SRMs: 3101a, 3103a, 3107, 3104a, 3105a, 3106, 3109a, 3108, 3110, 3113, 3112a, 3111a, 3114, 3115a, 3116a, 3117a, 3126a, 3119a, 3118a, 3123a, 3124a, 3141a, 3127a, 3129a, 3130a, 3131a, 3132, 3152a, 3135a, 3136, 3139a, 3128, 3142a, 3145a, 3143, 3148a, 3149, 3147a, 3153a, 3157a, 3158, 3160a, 3164, 3165, 3167a, 3166a and 3168a. The uncertainty associated with each certified concentration represents the expanded uncertainty at the 95% confidence level using a coverage factor of k=2.

ANEXO 11

Curvas de calibración de cobre y plomo

Cu (324.754 nm)

Intensity = 49178.83572311 * Concentration - 5.05927561

Correlation coefficient: 1.00000

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	-0.03	0.00	0.00	N/A
Standard 2	48617.62	1.00	0.99	1.13
Standard 3	502410.54	10.00	10.22	2.16

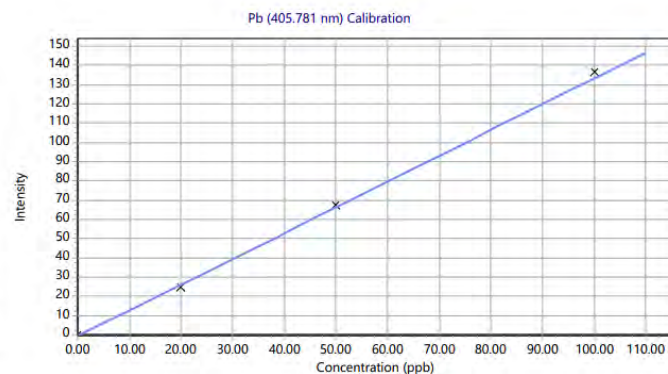


Pb (405.781 nm)

Intensity = 1.34082142 * Concentration - 0.84706342

Correlation coefficient: 0.99983

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	-0.03	0.00	0.61	N/A
Standard 1	24.88	20.00	19.19	4.06
Standard 2	67.58	50.00	51.04	2.07
Standard 3	136.83	100.00	102.68	2.68



ANEXO 12

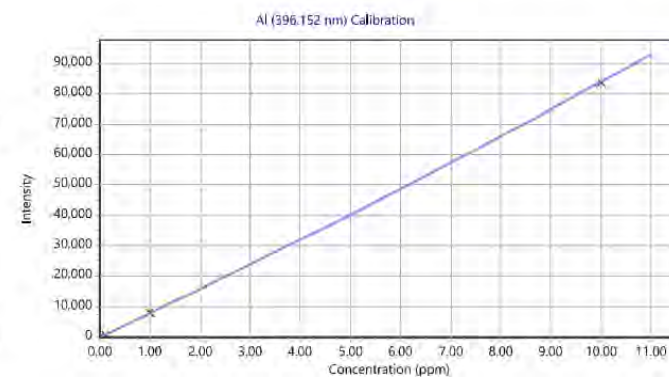
Curvas de calibración de aluminio y zinc

Al (396.152 nm)

Intensity = (7761.68865641 * Concentration - 7.66025971) / (1 - 0.00750668 * Concentration)

Correlation coefficient: 1.00000

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.04	0.00	0.00	N/A
Standard 1	740.64	0.10	0.10	3.66
Standard 2	7883.64	1.00	1.01	0.90
Standard 3	83867.06	10.00	10.00	0.05

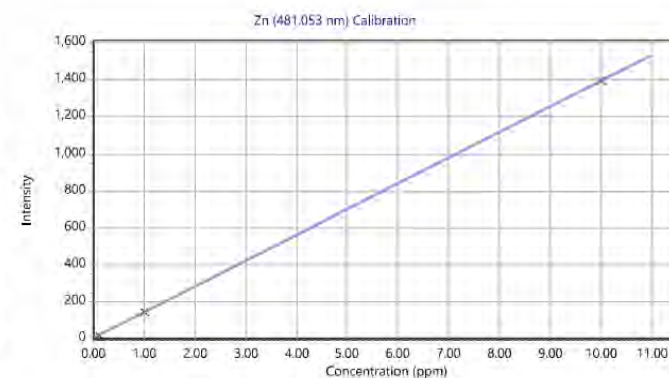


Zn (481.053 nm)

Intensity = 139.40364368 * Concentration + 3.42330193

Correlation coefficient: 0.99999

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.02	0.00	-0.02	N/A
Standard 1	18.67	0.10	0.11	9.36
Standard 2	147.49	1.00	1.03	3.34
Standard 3	1394.75	10.00	9.98	0.19



ANEXO 13

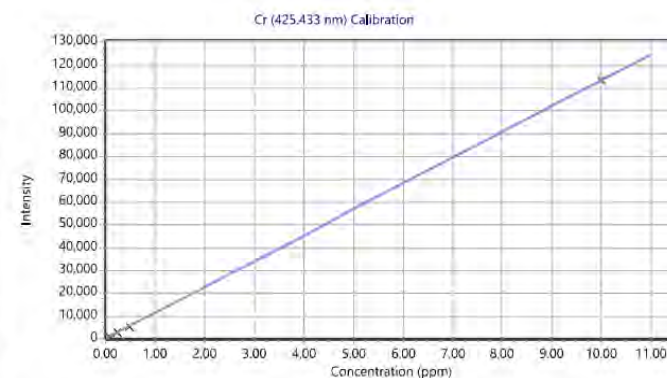
Curvas de calibración de cromo y hierro

Cr (425.433 nm)

Intensity = 11356.57584533 * Concentration - 3.70307690

Correlation coefficient: 1.00000

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.05	0.00	0.00	N/A
Standard 1	1134.62	0.10	0.10	0.23
Standard 2	2757.86	0.25	0.24	2.73
Standard 3	5576.40	0.50	0.49	1.73
Standard 4	113606.28	10.00	10.00	0.04

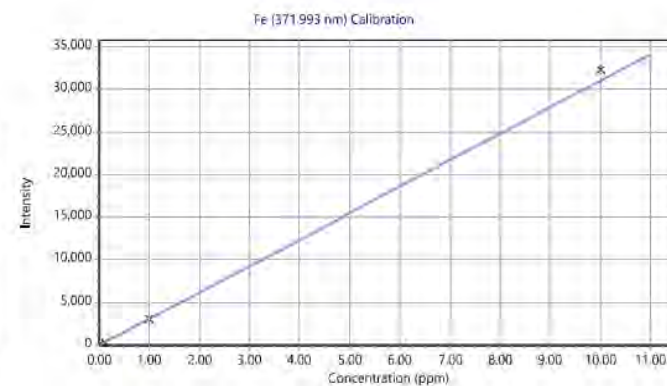


Fe (371.993 nm)

Intensity = 3101.06930677 * Concentration - 21.55808526

Correlation coefficient: 0.99998

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.03	0.00	0.01	N/A
Standard 1	277.97	0.10	0.10	3.41
Standard 2	3031.64	1.00	0.98	1.54
Standard 3	32307.07	10.00	10.42	4.25



ANEXO 14

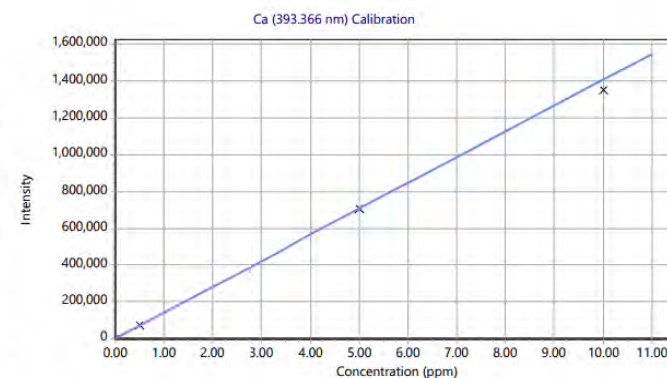
Curvas de calibración de calcio y sodio

Ca (393.366 nm)

Intensity = 140782.99090945 * Concentration + 606.38098877

Correlation coefficient: 0.99972

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	1.05	0.00	0.00	N/A
Standard 1	74687.18	0.50	0.53	5.24
Standard 2	707600.02	5.00	5.02	0.44
Standard 3	1352323.85	10.00	9.60	3.99

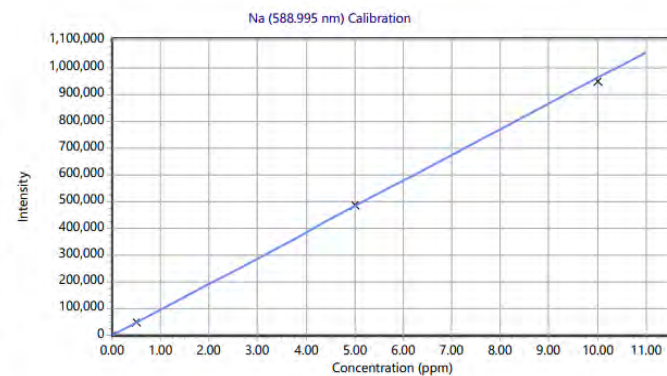


Na (588.995 nm)

Intensity = 96137.42906532 * Concentration + 0.02275932

Correlation coefficient: 0.99993

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.00	0.00	0.00	N/A
Standard 1	48807.02	0.50	0.51	1.54
Standard 2	485788.78	5.00	5.05	1.06
Standard 3	949490.13	10.00	9.88	1.24



ANEXO 15

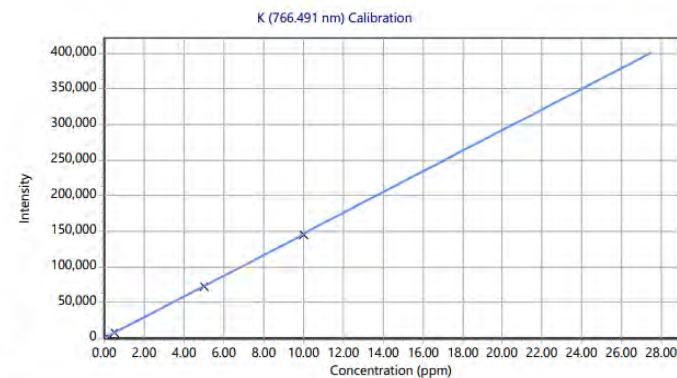
Curvas de calibración de potasio y magnesio

K (766.491 nm)

Intensity = 14593.51006249 * Concentration + 0.51641457

Correlation coefficient: 0.99998

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	-0.02	0.00	0.00	N/A
Standard 1	7978.40	0.50	0.55	9.33
Standard 2	73384.37	5.00	5.03	0.57
Standard 3	144943.65	10.00	9.93	0.68

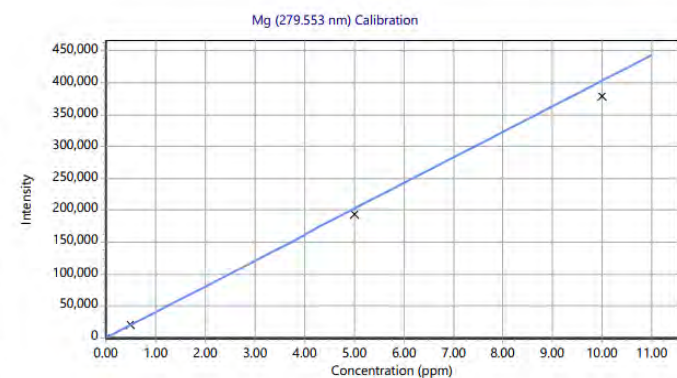


Mg (279.553 nm)

Intensity = 40373.17308764 * Concentration + 5.28460996

Correlation coefficient: 0.99994

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	-0.03	0.00	0.00	N/A
Standard 1	21028.15	0.50	0.52	4.14
Standard 2	193730.76	5.00	4.80	4.03
Standard 3	379248.43	10.00	9.39	6.07



ANEXO 16

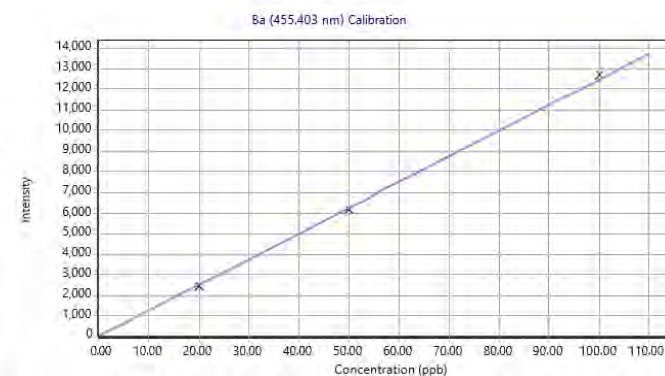
Curvas de calibración de bario y níquel

Ba (455.403 nm)

Intensity = 124.55641141 * Concentration - 12.74350056

Correlation coefficient: 0.99992

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.00	0.00	0.10	N/A
Standard 1	2459.23	20.00	19.85	0.77
Standard 2	6213.50	50.00	49.99	0.03
Standard 3	12712.24	100.00	102.16	2.16

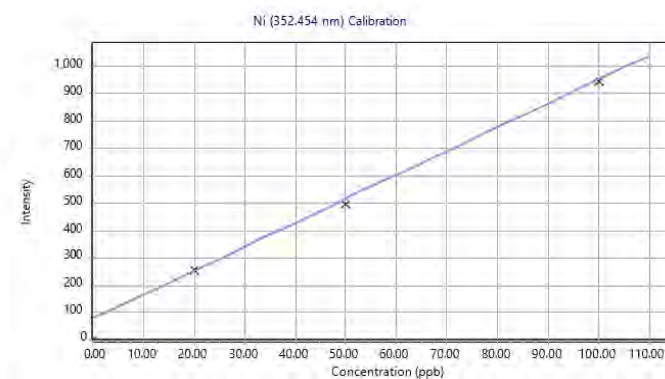


Ni (352.454 nm)

Intensity = 8.72226342 * Concentration + 77.26776243

Correlation coefficient: 0.99700

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	-0.11	0.00	-8.87	N/A
Standard 1	258.71	20.00	20.80	4.01
Standard 2	497.00	50.00	48.12	3.76
Standard 3	945.38	100.00	99.53	0.47



ANEXO 17

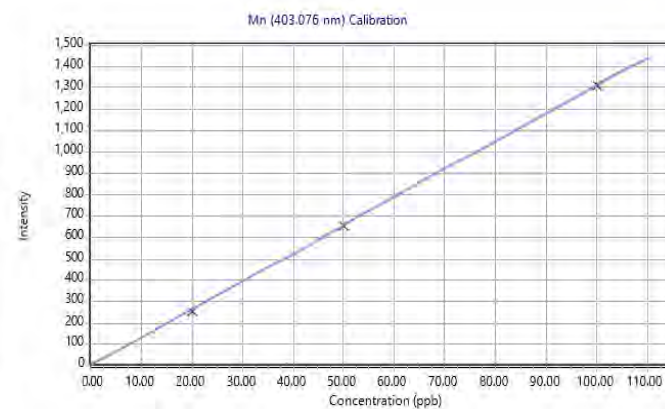
Curva de calibración de manganeso

Mn (403.076 nm)

Intensity = 13.10083965 * Concentration - 0.84370679

Correlation coefficient: 0.99996

Standards	Intensity	Method Concentration	Calculated Concentration	% Error
Blank	0.02	0.00	0.07	N/A
Standard 1	252.20	20.00	19.32	3.42
Standard 2	656.87	50.00	50.20	0.41
Standard 3	1316.37	100.00	100.54	0.54



ANEXO 18

Valores de los parámetros fisicoquímicos in situ comparados con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos

Permisibles para agua de consumo humano de la JASS Q'ello Q'ello

Muestra (ID)	T (°C)	pH	Turbidez (UNT)	SDT (mg/L)	CE (μS/cm)	Cloruro (mg/L Cl ⁻)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfato (mg/L SO ₄ ²⁻)	OD mg/L	ORP (mV)	Cloro total mg/L	Cloro residual mg/L	Hierro total (mg/L Fe)	Hierro Ferroso (mg/L Fe ²⁺)
C1	15.90	6.71	4.00	67.65	135.30	3.97	56.00	73.16	9.50	2.00	3.39	683.70	0.00	0.00	0.06	<0.02
R	16.10	7.25	3.00	60.60	121.20	4.49	50.00	69.91	9.50	<2.00	3.03	618.10	0.44	0.43	0.10	0.03
CRP	16.30	7.15	6.00	59.20	118.50	4.31	48.33	67.90	9.50	<2.00	2.50	562.00	0.00	0.00	0.20	0.03
C1V1	16.20	7.38	3.00	56.75	113.50	5.18	47.77	67.31	9.50	<2.00	3.12	638.10	0.50	0.46	0.20	0.02
C1V2	13.20	7.47	4.00	57.00	115.60	5.18	47.77	66.98	9.50	<2.00	3.15	612.30	0.40	0.34	0.10	0.03
C1V3	14.40	7.58	7.00	55.60	111.30	5.70	46.66	65.35	9.50	<2.00	3.27	617.00	0.31	0.23	0.31	0.03
C2	16.00	6.69	2.00	111.2	222.20	9.50	96.66	108.93	9.50	<2.00	2.58	279.30	<0.02	<0.02	0.30	0.02
C2V1	16.10	7.59	2.00	60.45	120.90	5.18	48.33	66.65	9.50	<2.00	3.00	530.50	0.43	0.39	0.30	0.02
C2V2	16.00	7.59	2.00	59.40	118.80	3.45	45.66	62.75	9.50	<2.00	2.83	609.70	0.48	0.47	0.20	0.02
C3	16.10	6.93	5.00	78.80	157.60	4.02	68.33	99.17	9.50	<2.00	3.23	271.30	<0.02	<0.02	0.10	<0.02
C3V1	16.10	7.54	5.00	88.30	176.60	5.18	73.33	97.55	9.50	<2.00	3.60	504.50	<0.02	<0.02	0.10	<0.02
C3V2	13.40	7.64	2.00	82.00	164.60	4.31	75.00	102.42	9.50	<2.00	3.32	528.10	<0.02	<0.02	0.10	<0.02
C3V3	15.00	7.71	3.00	78.00	156.50	4.31	70.00	97.55	9.50	<2.00	3.50	492.00	0.02	0.02	0.20	<0.02
LMP	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	250	...	...	5	0.5-5	0.3	...
ECA	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	500	≥ 5	...	...	...	1	...

Nota: Los valores de alcalinidad y ORP se han comparado con los límites recomendados de la normativa colombiana y la OMS, respectivamente.

ANEXO 19

Valores de los parámetros fisicoquímicos in situ comparados con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos

Permisibles para agua de consumo humano de la JASS Q'enko

Muestra (ID)	T (°C)	pH	Turbidez (UNT)	SDT (mg/L)	CE (µS/cm)	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	OD mg/L	ORP (mV)	Cloro total mg/L	Cloro residual mg/L	Hierro total (mg/L Fe)	Hierro Ferroso (mg/L Fe ²⁺)
C1	12.50	6.83	2.00	69.30	129.60	4.32	28.33	44.22	9.50	<2.00	2.68	218.10	<0.02	<0.02	0.02	<0.02
C2	11.90	6.48	4.00	38.20	76.80	4.03	25.53	41.26	9.50	<2.00	2.52	227.80	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C3	12.20	6.73	2.00	22.70	46.70	2.87	18.33	31.89	9.50	<2.00	2.82	240.50	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C4	11.80	6.68	0.00	29.70	59.30	5.18	21.67	36.23	9.50	<2.00	2.16	236.50	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C5	15.30	6.79	3.00	51.40	88.70	4.59	28.89	45.62	9.50	3.00	2.51	204.10	<0.02	<0.02	0.04	0.02
C6	14.70	7.13	2.00	29.40	59.50	4.32	23.33	38.39	9.50	<2.00	2.58	179.50	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
E2	13.20	7.30	0.00	49.00	98.60	3.46	43.33	66.65	9.50	<2.00	2.78	225.20	<0.02	<0.02	0.04	0.02
C7	10.60	6.80	2.00	84.50	171.50	4.32	70.00	99.12	9.50	<2.00	2.56	242.70	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C8	11.60	6.98	0.00	80.30	159.10	4.32	67.20	94.95	9.50	<2.00	2.32	287.60	<0.02	<0.02	0.04	0.03
CR1	14.20	7.12	0.00	70.60	140.70	3.46	63.33	90.44	9.50	<2.00	2.87	226.80	<0.02	<0.02	0.04	0.02
E1	14.30	7.16	2.00	50.50	100.40	4.03	41.11	60.48	9.50	<2.00	3.05	210.60	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
CR2	13.10	7.27	2.00	49.40	95.60	4.67	36.67	55.74	9.50	<2.00	2.98	212.20	<0.02	<0.02	0.08	0.03
R	13.40	7.50	3.00	50.50	101.30	4.32	43.33	64.42	9.50	<2.00	2.95	603.90	1.02	0.94	0.04	<0.02
V1	13.30	7.37	2.00	51.80	104.10	3.97	42.00	62.68	9.50	<2.00	2.95	220.50	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
V2	12.10	7.13	2.00	45.80	91.40	3.45	40.00	60.08	9.50	<2.00	3.27	602.60	0.20	<0.02	0.05	0.04
LMP	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	250	...	...	5	0.5-5	0.3	...
ECA	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	500	≥ 5	...	...	...	1	...

Nota: Los valores de alcalinidad y ORP se han comparado con los límites recomendados de la normativa colombiana y la OMS, respectivamente.

ANEXO 20

Valores de los parámetros fisicoquímicos comparados con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos Permisibles para agua de consumo humano de la JASS Pfullpuri

Muestra (ID)	T (°C)	pH	Turbidez (UNT)	SDT (mg/L)	CE (µS/cm)	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	OD mg/L	ORP (mV)	Cloro total mg/L	Cloro residual mg/L	Hierro total (mg/L Fe)	Hierro Ferroso (mg/L Fe ²⁺)
C1	11.30	7.31	2.00	46.70	93.80	4.49	33.33	47.15	9.50	2.00	2.40	229.80	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C2	13.20	7.43	1.00	42.30	84.60	3.63	32.00	45.52	9.50	<2.00	2.92	201.70	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C3	13.90	7.55	4.00	54.00	108.00	5.18	43.33	61.78	9.50	<2.00	2.59	214.30	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
C4	18.00	7.25	5.00	94.45	188.90	2.76	90.00	123.56	9.50	<2.00	2.23	214.30	<0.02	<0.02	0.04	0.02
R	16.70	7.43	3.00	44.25	88.50	3.46	33.33	58.53	9.50	<2.00	2.77	407.00	0.07	<0.02	0.04	0.02
V1	16.90	7.61	13.20	48.10	96.20	4.49	38.67	56.90	9.50	<2.00	2.75	383.10	0.03	<0.02	0.04	<0.02
V2	17.80	6.91	3.00	44.60	89.20	4.60	33.67	47.15	9.50	<2.00	3.05	361.30	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
V3	17.10	6.43	2.00	45.75	91.50	4.49	35.00	48.78	9.50	<2.00	3.07	319.50	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
LMP	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	250	...	...	5	0.5-5	0.3	...
ECA	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	500	≥ 5	...	...	...	1	...

ANEXO 21

Valores de los parámetros fisicoquímicos in situ comparados con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos

Permisibles para agua de consumo humano de la JASS Soñaque

Muestra (ID)	T (°C)	pH	Turbidez (UNT)	SDT (mg/L)	CE (μS/cm)	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	OD (mg/L)	ORP (mV)	Cloro total (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Hierro total (mg/L Fe)	Hierro Ferroso (mg/L Fe ²⁺)
C	8.70	7.35	0.00	45.00	90.00	5.18	34.33	52.03	9.50	2.00	3.32	320.20	<0.02	<0.02	<0.04	0.03
S	7.70	7.42	2.00	45.30	90.20	3.46	34.33	52.03	9.50	<2.00	3.19	264.40	<0.02	<0.02	0.05	<0.02
PA	11.70	7.73	3.00	40.10	80.20	3.97	33.67	52.03	9.50	<2.00	3.67	488.80	<0.02	<0.02	<0.04	<0.02
R	9.80	7.53	5.00	45.50	90.80	4.49	35.33	53.98	9.50	<2.00	3.20	588.25	1.22	1.12	0.05	0.04
V1	16.90	7.54	5.00	44.75	89.50	6.48	34.00	48.78	9.50	<2.00	3.03	550.70	0.80	0.70	0.05	0.03
V2	16.40	7.57	4.00	45.45	90.90	5.18	34.33	52.03	9.50	<2.00	3.48	567.20	0.69	0.63	0.05	0.03
V3	16.70	7.56	4.00	51.65	103.30	6.22	38.33	55.28	9.50	<2.00	2.73	588.10	0.33	0.24	0.05	0.03
LMP	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	250	...	...	5	0.5-5	0.3	...
ECA	Δ 3	6.5-8.5	5.00	1 000	1 500	250	500	...	...	500	≥ 5	...	...	...	1	...

ANEXO 22

Comparación de los resultados obtenidos por MP-AES con el Material de Referencia Certificado (MRC) de matriz de agua potable

Elemento	Valor certificado (mg/L)	Límites de aceptación del rendimiento de control de calidad (mg/L)	Concentración obtenida (mg/L)
Na	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	0.0000	0.0000	0.0000
K	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.0000	0.0000	0.0000
Cr	0.1690	0.1510 – 0.1860	0.1742
Zn	0.9910	0.9000 – 1.0900	1.0227
Al	0.3760	0.3260 – 0.4250	0.4026
Cu	1.3000	1.1700 – 1.4200	1.2376
Fe	1.7400	1.5400 – 1.9300	1.7323
Pb	0.0186	0.0162 – 0.0210	0.0167
Ba	1.1900	1.0700 – 1.3000	1.1234
Ni	0.4030	0.3610 – 0.4390	0.4336
Mn	0.4740	0.4350 – 0.5210	0.5106