

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



TESIS:

**Evaluación del nivel de arsénico en los manantiales de los
centros poblados de la Comunidad de Quispillaccta, Distrito
de Chuschi, Provincia de Cangallo**

Para optar el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:
Bach. Walter Efraín ALARCON CANCHARI

ASESOR:
Dr. Agustín Julián PORTUGUÉZ MAURTUA

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la “Asociación Bartolomé Aripaylla”, a los pobladores de la Comunidad Campesina de Quispillaccta, en particular a la Ingeniero Magdalena Machaca, por su incansable dedicación a la siembra y cosecha del agua, y la ilusión de beber agua de gran pureza, frente a la crisis hídrica que se cierne en el horizonte.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi gratitud más sincera a la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, de donde egresé tras formación académica exigente, en una época tumultuosa y difícil, hace ya tiempo.

Del mismo modo a la Unidad de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Ambiental por haberme sensibilizado con los problemas medioambientales, y la importancia de la investigación para solucionarlos para el bien de la comunidad, nuestro país y el mundo.

A mi asesor Dr. Agustín Julián Portugués Maurtua por su inestimable orientación, apoyo constante, y palabras de aliento para llegar a un buen término.

Extiendo mi agradecimiento, a todas aquellas personas que me encaminaron a la investigación en la calidad del agua, buscando manantiales de agua pura, sin cuya ilusión compartida, no se habría concretado la iniciativa presente.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
Resumen.....	xi
Abstract	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción de la Situación Problemática	4
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.2.1. Problema General	6
1.2.2. Problemas Específicos	6
1.3. Objetivos de la Investigación	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
1.4. Justificación	7
1.4.1. Teórica	7
1.4.2. Práctica	7
1.4.3. Metodológica	7
1.4.4. Social	7
CAPÍTULO II	8

MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de la Investigación	8
2.1.1. Internacional	8
2.1.2. Nacional	9
2.1.3. Local	10
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Calidad del Agua Potable	11
2.2.2. La contaminación del Agua por Metales Pesados	12
2.2.3. El Arsénico	13
2.2.4. La Contaminación del Agua por Arsénico	14
2.2.5. Efectos del Arsénico en la Salud	15
2.2.6. Rangos de Concentración de Arsénico en el Agua y sus Efectos en la Salud Humana	15
2.2.7. Técnicas Analíticas de Cuantificación de Arsénico	16
2.2.8. Método de Gutzeit para la Detección de Arsénico	17
2.2.9. Toxicidad Comparativa la Arsina (AsH_3) y de la Fosfina (PH_3)	18
2.2.10. Remoción del Arsénico.....	19
2.3. Bases Conceptuales	21
2.3.1. Evaluación de la Calidad del Agua.....	21
2.3.2. El TDS en el Agua.....	23
2.3.3. La electrólisis del Agua	26
2.3.4. La Concentración de Arsénico en el Agua	28
2.3.5. Participación Comunitaria en la Gestión del Agua.....	29
2.4. Marco Legal.....	29

CAPÍTULO III.....	31
METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	32
3.2. Métodos	32
3.3. Diseño de Investigación.....	33
3.4. Población y Muestra	34
3.4.1. Población	34
3.4.2. Muestra	34
3.5. Muestreo	35
3.5.1. Procedimiento de Obtención de Muestras	35
3.5.2. Procedimiento de Obtención de Datos	35
3.6. Técnicas e Instrumentos	36
3.7. Validez y Confiabilidad de Instrumentos	36
3.7.1. El Medidor de TDS.....	36
3.7.2. El Probador Electrolítico del Agua.....	37
3.7.3. El Kit de Detección del Arsénico	37
3.7.4. El Laboratorio Acreditado	38
3.8. Técnicas de Procesamiento de Datos.....	38
3.8.1. Obtención de Datos Preliminares	38
3.8.2. Obtención de Datos Definitivos.....	39
3.8.3. Procesamiento de Datos.....	39
3.9. Aspectos Éticos.....	40
3.9.1. Salud y Bienestar de la Comunidad.....	40

3.9.2. Responsabilidad Social	40
3.9.3. Participación y Cooperación Comunitaria	40
3.9.4. Integridad Científica	40
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Resultados de la Investigación	41
4.1.1. Resultados de las Pruebas Preliminares Mediante el Medidor de TDS.....	42
4.1.2. Resultados de la Medición de la Concentración de Arsénico con el Kit de Arsénico..	42
4.1.3. Resultados de la Medición Cuantitativa de la Concentración de Arsénico	45
4.1.4. Ensayo de Uso de Métodos Artesanales de Reducción de Arsénico	46
4.2. Discusión de los Resultados	47
4.2.1. Discusión de Resultados de las Pruebas Preliminares	48
4.2.2. Discusión de Resultados de las Pruebas Preliminares Mediante el Medidor de TDS..	48
4.2.3. Discusión de Resultados de la Medición de la Concentración de Arsénico con el Kit de Arsénico	49
4.2.4. Discusión de Resultados de la Medición de la Concentración de Arsénico y la población en riesgo	50
4.2.5. Discusión de Resultados de la Medición Cuantitativa de la Concentración de Arsénico	50
4.2.6. Medidas de Prevención y Control de la Contaminación por Arsénico en el Agua	52
CAPÍTULO V	54
CONCLUSIONES	54
5.1. Concentración de Arsénico en las Fuentes de Agua.....	54

5.2. Fuentes de Agua Aptas y No Aptas para Consumo Humano.....	55
5.3. Medidas para Reducir la Concentración de Arsénico en las Fuentes de Agua	55
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS	70
INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO ACREDITADO	70
.....	77
CENTROS POBLADOS, FUENTES DE AGUA, LECTURAS DE TDS Y ARSÉNICO, GEOREFERENCIACIÓN Y ALTITUD. (DATOS RECOGIDOS ENTRE LOS MESES DE ABRIL A NOVIEMBRE DE LOS AÑOS 2023 Y 2024).....	78
FOTOGRAFÍAS.....	1

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de Peligrosidad de la Arsina y la Fosfina	19
Tabla 2 Resultados Preliminares de las Mediciones de TDS	42
Tabla 3 Resultados, Según el TDS en Orden Descendente	43
Tabla 4 Concentración de Arsénico en Orden Descendente.....	44
Tabla 5 Niveles de Riesgo y Rango de Concentraciones de Arsénico	45
Tabla 6 Comparación de la Concentración Real del Arsénico con la del Kit de Arsénico	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Medidor de TDS, total de sólidos disueltos.....	26
Figura 2 Probador electrolítico del agua.....	27
Figura 3 Kit de prueba del arsénico	28

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar la concentración de arsénico en las fuentes de agua utilizadas para consumo humano en la comunidad campesina de Quispillaqta, ubicada en el distrito de Chuschi, provincia de Cangallo. Se implementó un diseño descriptivo, no experimental, con un enfoque mixto que combina métodos cualitativos y cuantitativos en un estudio de caso, en talleres periódicos a lo largo de los años 2 023 y 2 024. Se recolectaron muestras de agua de los 14 centros poblados del territorio y se analizaron mediante pruebas de campo y laboratorio, utilizando instrumentos como el medidor de TDS, probador electrolítico del agua, un kit específico para detección de arsénico, y análisis en un laboratorio acreditado. Los resultados indican que todas las fuentes de agua presentan contaminación por arsénico, con concentraciones que van hasta alarmantes y preocupantes, aunque también se identificaron algunas fuentes saludables y un manantial con pureza excepcional. Como respuesta, se propone la implementación de diversas medidas para reducir la contaminación, se experimentó también un método artesanal con materiales locales, todas orientadas a garantizar la seguridad del agua para el consumo humano.

Palabras clave: Arsénico, solidos solubles totales, toxicidad.

Abstract

This research study aims to determine the arsenic concentration in the water sources used for human consumption in the rural community of Quispillaqta, located in the Chuschi district, Cangallo province. A descriptive, non-experimental, mixed-methods approach was used, combining qualitative and quantitative methods in a case study design, in periodic workshops throughout the years 2 023 and 2 024. Water samples were collected from the 14 settlements within the area and analyzed using field and laboratory tests, employing instruments such as a total dissolved solids (TDS) meter, an electrolytic water tester, an arsenic detection kit, and analysis at an accredited laboratory. The results indicate that all water sources are contaminated with arsenic, with levels ranging increasing to alarming and concerning, although some safe water sources and one spring with exceptionally pure water were also identified. As a response, several measures to reduce contamination are proposed, and an experimental, locally-made water purification method using readily available materials was also tested, all with the goal of ensuring safe drinking water for the community.

Keywords: Arsenic, total soluble solids, toxicity.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por arsénico en las comunidades altoandinas del Perú es preocupante y tiene implicaciones serias principalmente para la salud pública. Estudios recientes revelan que el 86 % de las fuentes de agua subterránea en distritos como Juliaca y Caracoto superan el límite de 10 µg/L de arsénico establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022).

En el distrito de Chuschi, de la provincia de Cangallo, en la región de Ayacucho, las autoridades ya tenían conocimiento del problema de la contaminación del agua por arsénico en las aguas que consumen las ciudades mellizas de Chuschi y Quispillaccta.

Los directivos de la Asociación Bartolomé Aripaylla (ABA) de Quispillaccta, que es famosa a nivel mundial por ser los autores y practicantes de la “Siembra y cosecha del agua”, al tomar conocimiento del problema, y testigos de una serie de pérdidas de vidas humanas de causas desconocidas en la comunidad campesina, decidieron tras unas indagaciones y pruebas preliminares, tomar acciones para evidenciar la magnitud del problema de contaminación del agua por metales pesados y arsénico en todo el ámbito territorial de la Comunidad Campesina de Quispillaccta. Es debido a esta iniciativa tomada el año 2022, que se iniciaron las acciones, mediante talleres prácticos, y pruebas preliminares para dilucidar el problema y sugerir opciones para reducir la concentración de arsénico a niveles seguros que, como uno de sus resultados generó el presente trabajo de tesis.

El presente trabajo de investigación se desarrolló estrictamente al área geográfica de los 14 centros poblados de la Comunidad de Quispillaccta, ubicada en el Distrito de Chuschi, Provincia de Cangallo, Región de Ayacucho, que corresponde a las regiones naturales sierra, suni, y puna de Perú.

La Comunidad de Quispillaccta se encuentra ubicada en el Distrito de Chuschi, Provincia de Cangallo, Región de Ayacucho, Perú.

Su territorio abarca un entorno geográfico diverso: la región natural quechua, la región natural suni, y la región natural puna, desde una altitud de aproximadamente 3 000 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta una altitud de más de 4 500 msnm. en el flanco occidental de la cordillera de Los Andes centrales peruanos.

La comunidad tiene una superficie de 21 680 hectáreas y cuenta con una población de 4 175 habitantes. Está a unos 90 kilómetros de distancia de la ciudad de Ayacucho.

El Centro Poblado de Quispillaccta, que es la capital, zona urbana, tiene las siguientes coordenadas:

Latitud: 13°35'18.56" del Meridiano de Greenwich Longitud: 74°21'36.55" O

Altitud: 3 148 m.s.n.m.

Considerando que la comunidad abarca una amplia región territorial, y por razones de facilidad para el transporte terrestre, los talleres teóricos, prácticos y experimentales se desarrollaron en el Centro Poblado de Unión Potrero, en la ciudad capital de Quispillaccta, que está separada de la ciudad de Chuschi solamente por un puente, y en la sede de la Asociación Bartolomé Aripaylla, ABA, en la Comunidad de Quicapata, del Distrito de Carmen Alto, de la ciudad de Ayacucho.

Las muestras de agua corresponden a todas las fuentes o manantiales de agua para consumo humano de los 14 centros poblados de la Comunidad, recolectadas por los propios comuneros, administrados por las ingenieras directivas de la Asociación Bartolomé Aripaylla.

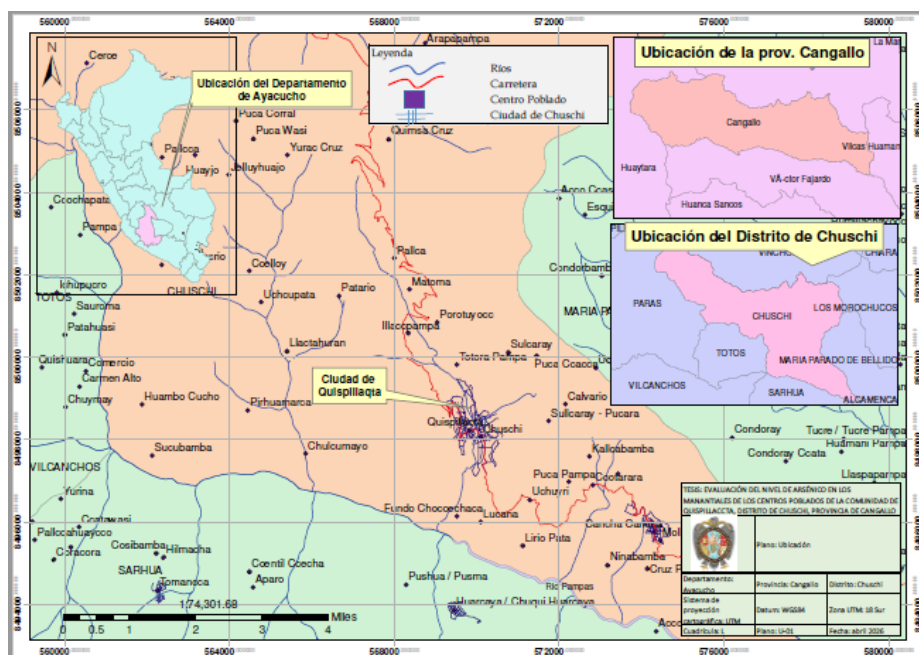
La zona paisajística de Quispillaccta, que incluye parte de esta comunidad, presenta una morfología con suaves pendientes, lo que la hace propicia para cultivos agrícolas y forraje. El

relieve incluye cerros elevados considerados cada uno como “Apu huamani”, que son reverenciados por la comunidad y pueden usarse como miradores naturales. Numerosos riachuelos recorren el valle, formando accidentes geográficos como el cañón de Ccocca.

La región experimenta una época de lluvias de noviembre a marzo, con temperaturas frías por las noches y templadas durante el día, acompañadas de un brillo solar constante. La humedad relativa varía entre las épocas de estiaje y lluvias. La comunidad utiliza lagunas naturales llamadas "qochas" para almacenar agua de lluvia, lo que ayuda a garantizar el acceso a este recurso durante todo el año. Estas lagunas están en un proceso constante de ampliación y construcción debido a la iniciativa adoptada como un estilo de vida de la comunidad, la siembra y cosecha del agua.

La economía local se basa principalmente en la ganadería lechera y la producción de derivados lácteos, como quesos y yogur. La comunidad también practica la apicultura y la crianza de cuyes.

Respecto a la tradición cultural Quispillaccta, es una de las pocas etnias que conserva, preserva y difunde las tradiciones y saberes ancestrales en la región de Ayacucho.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Situación Problemática

La contaminación por arsénico en fuentes de agua destinadas al consumo humano constituye un desafío de alcance mundial, reconocido por la Organización Mundial de la Salud como uno de los principales problemas de salud pública vinculados al agua. Diversos países de Asia —como Bangladesh e India— y de América Latina —especialmente Argentina, Chile y México— han reportado concentraciones de arsénico que superan ampliamente los límites recomendados de 10 ppb, generando impactos severos en la salud de las poblaciones expuestas, entre ellos lesiones cutáneas, cánceres y enfermedades cardiovasculares. En la región altoandina del Perú, donde las comunidades dependen de manantiales y ojos de agua para su abastecimiento, la problemática adquiere una dimensión particular: la vulnerabilidad socioeconómica y la limitada infraestructura de tratamiento agravan los riesgos asociados a la exposición prolongada. En este contexto global y regional, la situación observada en el distrito de Chuschi y la comunidad de Quispillaccta se inscribe en una problemática más amplia que exige iniciativas académicas y comunitarias, políticas nacionales, regionales y municipales orientadas a abordarla.

El año 2018 en una visita al distrito de Chuschi, con motivo de las festividades de una efeméride histórica del Bicentenario de la Batalla de Ayacucho, se pudo observar manchas en la piel del rostro y las manos tanto de los pobladores tanto de la ciudad de Chuschi como de la ciudad de Quispillaccta; una evidencia de posible contaminación por arsénico en el agua potable. Luego de unas medidas preliminares de los sólidos disueltos totales, TDS (por sus siglas en inglés) de las fuentes de agua, y unas pruebas de disociación electrolítica de las muestras de agua, se llegó a la conclusión de que tales aguas probablemente no eran aptas para el consumo humano, y que

posiblemente estarían contaminadas con arsénico. El año 2022, por iniciativa de la Asociación Bartolomé Aripaylla (ABA) de Quispillaccta, que es famosa a nivel mundial por ser los autores y practicantes de la “Siembra y cosecha del agua”, se empezó a realizar talleres de sensibilización acerca de la calidad del agua en los distintos centros poblados de la comunidad, y paulatinamente se empezó a implementar un laboratorio de análisis de agua, con tecnología basada en kits colorimétricos actuales de alta sensibilidad cualitativa, semi-cuantitativa principalmente. Como resultado de las investigaciones centradas en la detección de metales pesados y arsénico, se tiene avanzado un mapeo de los ojos de agua y el análisis químico preliminar de los mismos. Finalmente, la iniciativa se formalizó en el "Plan Comunitario de Control y Monitoreo para Asegurar la Calidad del Agua Potable con Especial Enfoque en la Vigilancia de Nivel de Metales Pesados y Arsénico en el Suministro", financiado por la asociación mencionada, que hizo posible se concretice el trabajo de campo.

El presente trabajo de investigación tiene el propósito de contribuir al control y la evaluación de la concentración de arsénico del agua potable proveniente de los manantiales de los 14 centros poblados de la comunidad de Quispillaccta, para proponer medidas adecuadas para el tratamiento de las aguas para el consumo humano, y es propósito de la ABA hacer réplica de lo realizado en todas las comunidades alto andinas del Perú como una etapa inicial que puede difundirse a otros países.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la concentración de arsénico en las fuentes de agua y manantiales que suministran agua para consumo humano a los centros poblados de la comunidad de Quispillaccta del Distrito de Chuschi?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles fuentes de agua o manantiales en la comunidad de Quispillaqta presentan niveles de arsénico aptos y no aptos para el consumo humano?
- b) ¿Qué medidas adecuadas y eficaces se pueden implementar para reducir la concentración de arsénico a niveles seguros en las fuentes de agua contaminadas de la comunidad?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar la concentración de arsénico en las fuentes de agua y manantiales que suministran agua para consumo humano a los centros poblados de la comunidad de Quispillaqta, Distrito de Chuschi.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Identificar cuáles fuentes de agua o manantiales en la comunidad de Quispillaqta presentan niveles de arsénico aptos y no aptos para el consumo humano.
- b) Evaluar y proponer medidas adecuadas y eficaces para reducir la concentración de arsénico a niveles seguros en las fuentes de agua contaminadas de la comunidad.

1.4. Justificación

1.4.1. Teórica

El estudio contribuye al conocimiento científico sobre la presencia y distribución del arsénico en fuentes de agua rurales, un tema relevante para la salud pública y la geología ambiental. Aporta datos concretos y actualizados sobre la contaminación por arsénico en la comunidad campesina de Quispillaqta, ampliando la literatura sobre toxicidad ambiental y evaluaciones químicas del agua.

1.4.2. Práctica

Proporciona información esencial para la comunidad local y las autoridades sanitarias para tomar decisiones informadas sobre el consumo y tratamiento del agua. La identificación precisa de fuentes contaminadas y saludables permite diseñar intervenciones efectivas para mitigar riesgos, reduciendo enfermedades relacionadas con la contaminación por arsénico.

1.4.3. Metodológica

Utiliza un diseño no experimental que integra técnicas cualitativas y cuantitativas en un estudio de caso, demostrando un enfoque riguroso y sistemático. La aplicación de instrumentos de medición en campo y análisis en laboratorio ofrece validez y confiabilidad a los resultados, estableciendo una metodología replicable en otras comunidades afectadas.

1.4.4. Social

El estudio tiene un impacto directo en la calidad de vida de la población campesina de Quispillaqta, al identificar problemas ambientales que afectan su salud y bienestar. Además, propone soluciones prácticas y accesibles para la reducción de la contaminación por arsénico, fomentando la participación comunitaria y el uso de recursos locales, lo cual fortalece la sostenibilidad y autonomía social.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Internacional

La problemática de la contaminación del agua por arsénico ha sido ampliamente documentada en distintos continentes, convirtiéndose en un desafío global para la salud pública. En países como Bangladesh, investigaciones recientes publicadas en la revista PLOS ONE por Frisbie, han advertido que el cambio climático podría intensificar la presencia de arsénico en el agua potable, lo que incrementaría los riesgos de exposición crónica en millones de personas (Frisbie, 2 024). Este hallazgo refleja cómo factores ambientales globales pueden agravar una problemática ya existente en regiones vulnerables.

De manera similar, en Argentina, Chile, China, Estados Unidos, India, México, Pakistán y Vietnam, se ha identificado que el arsénico inorgánico se encuentra de manera natural en niveles elevados en aguas subterráneas. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2 022) ha señalado que esta condición representa una amenaza significativa para la salud pública, dado que la exposición prolongada está asociada con enfermedades graves como cánceres de piel, vejiga y pulmón, así como con problemas cardiovasculares.

El caso de Argentina es particularmente ilustrativo: en el noroeste de Santa Fe y el sur de Santiago del Estero se detectaron concentraciones promedio de 0,203 mg/L de arsénico en aguas subterráneas, es decir, veinte veces superiores al límite recomendado por la OMS. Este nivel de exposición se proyecta en alrededor de 500 casos de cáncer atribuibles en poblaciones sin acceso a agua potable segura, además de efectos adversos en niños pequeños, como lesiones dérmicas y alteraciones neurológicas (Acta Toxicológica Argentina, 2 016).

A nivel global, la OMS estima que aproximadamente 140 millones de personas en al menos 70 países consumen agua con niveles de arsénico superiores al límite provisional de 10 µg/L. En países como Bangladesh, esta crisis ha derivado en una contaminación masiva de acuíferos, con consecuencias devastadoras en términos de enfermedades crónicas y mortalidad elevada (OMS, 2 022).

En México, se han implementado diversas estrategias para mitigar los riesgos asociados al arsénico en aguas subterráneas, incluyendo la mezcla de fuentes contaminadas con agua más pura, la relocalización de pozos y el tratamiento del agua. Sin embargo, estas soluciones presentan limitaciones en áreas rurales, donde las restricciones económicas y la falta de fuentes alternativas dificultan su aplicación efectiva (Defiende La Sierra, 2 021).

2.1.2. Nacional

En el Perú se han realizado estudios sobre la contaminación del agua por arsénico. Por ejemplo, según información periodística, en Pacora, un municipio del norte de Perú, el 77 % de los menores presenta altos niveles de arsénico en su organismo debido al consumo de agua contaminada por ese metaloide (Moreno, 2 024).

Jayanca, otro distrito en la zona norte de Lambayeque, junto a Pacora, también ha visto afectada a su población por rastros de contaminantes en el agua. El alto consumo de arsénico podría generar graves afectaciones a la salud si no se toman acciones urgentes (La República, 2 021).

Además, en los distritos de Coata, Huata y Capachica, en Puno, se encontraron restos de arsénico en el organismo de personas examinadas. Investigaciones han demostrado que en Juliaca y Caracoto, hasta el 96 % de las muestras de agua subterránea exceden el límite establecido por la OMS de 10 µg/L. En algunos casos, se han encontrado concentraciones de arsénico que alcanzan hasta 500 µg/L (UNAJ, 2 019).

Un estudio realizado en la Asociación Nueva Jerusalén en Juliaca evaluó la concentración de arsénico en aguas subterráneas para consumo humano. Se encontraron muestras que superaban los límites permisibles (Huillca, 2 019).

En diversas regiones del Perú, se estima que más de 250 000 personas consumen agua con niveles superiores a los permitidos (COSUDE, 2 023).

Los antecedentes internacionales y nacionales sobre la contaminación por arsénico son preocupantes y justifican la iniciativa de una evaluación de los niveles de arsénico en la comunidad de Quispillaqta, como un primer paso para vislumbrar la contaminación de las aguas en las comunidades alto andinas.

2.1.3. Local

En Ayacucho, se han realizado estudios sobre la contaminación del agua por arsénico. Según un reporte estadístico departamental publicado por el Ministerio del Ambiente, se han identificado fuentes de contaminación por aguas residuales que descargan sin tratamiento en cuerpos de agua (UNSCH, 2 020).

Una investigación evaluó la calidad del agua superficial en el distrito de Sacsamarca, donde se encontraron niveles de arsénico de 0,13 ppm en el río Caracha, que superan los límites establecidos. Este estudio también destacó la falta de vigilancia y coordinación para abordar la contaminación del agua en la región (Tesis PUCP, 2 018).

Se han reportado altos niveles de arsénico y plomo en ríos y quebradas de Ayacucho, atribuibles a actividades mineras. Por ejemplo, el afluente del río Sondondo ha sido identificado como contaminado, lo que resalta el impacto ambiental de la minería en la calidad del agua (Business & Human Rights Resource Centre, 2 009).

Un estudio sobre las piscigranjas en Ayacucho reveló que los niveles de arsénico en el agua superan los estándares de calidad ambiental, lo que plantea riesgos no solo para la salud humana sino también para la fauna acuática (UNEHVAL, 2 023).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad del Agua Potable

El agua potable debe cumplir con una serie de características y requisitos para ser considerada segura para el consumo humano.

En cuanto a su aspecto físico debe ser incolora, inodora, e insípida. Respecto de su pureza microbiológica debe estar libre de microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos que pueden causar enfermedades. Esto incluye la ausencia de coliformes fecales.

La composición química del agua potable debe tener un contenido controlado de minerales y iones (como sulfatos, cloruros, nitratos y calcio) dentro de los límites establecidos por normativas internacionales. El pH debe estar entre 6,5 y 9,5 para ser considerado seguro (Equipo Editorial, 2 023) (Wikipedia, 2 025). No debe contener contaminantes orgánicos, inorgánicos o radiactivos que puedan afectar la salud humana. Esto incluye metales pesados como plomo y arsénico, así como productos químicos industriales.

Las normativas Internacionales de la Unión Europea y la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen estándares claros sobre los límites permisibles para diversos contaminantes en el agua potable.

La calidad del agua potable es esencial para la salud pública y debe ser monitoreada constantemente para garantizar que cumpla con los estándares necesarios. La OMS publica guías para la calidad del agua potable que establecen límites recomendados para contaminantes químicos

y microbiológicos. Estas guías sirven de base para que los países en desarrollo puedan establecer sus propias normas y asegurar la calidad del agua (OMS, 2 022).

La OMS promueve el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos, como se establece en la meta 6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Esto incluye el suministro de agua desde fuentes mejoradas, disponibles cuando se necesitan y sin contaminación fecal o química.

La política de la OMS respecto a la calidad del agua potable en los países en desarrollo se centra en garantizar el acceso universal a agua segura, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación y promover la cooperación internacional para fortalecer las capacidades locales. Además, fomenta la participación comunitaria para asegurar la sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento.

2.2.2. La contaminación del Agua por Metales Pesados

La contaminación del agua por metales pesados es un problema ambiental que afecta la salud humana y los ecosistemas, sus orígenes provienen principalmente de actividades antropogénicas, vertidos industriales, drenaje ácido de minas (Pabón, 2 020):

2.2.2.1. Actividades Industriales. La industria es una fuente importante de metales pesados en el agua, a través de vertidos industriales y efluentes de aguas residuales. Elementos como el plomo, mercurio, cromo y cadmio son comúnmente liberados en cuerpos de agua durante procesos industriales (Villalba-Atondo, 2 017).

2.2.2.2. Minería. Las áreas con intensa actividad minera son especialmente vulnerables a la contaminación por metales pesados. La extracción de minerales puede liberar compuestos tóxicos, y las minas abandonadas continúan contaminando fuentes hídricas a través del drenaje ácido.

2.2.2.3. Lixiviación Natural. En algunos casos, el agua puede enriquecerse naturalmente con metales pesados al atravesar acuíferos formados por rocas que contienen estos elementos.

Los límites máximos permisibles para la presencia de metales pesados en el agua potable son muy bajos debido a su toxicidad y capacidad de bioacumulación (Decreto Supremo N° 020-2 021-MINAM). Por ejemplo:

- Mercurio: 1 µg/L
- Plomo: 25 µg/L
- Cromo: 50 µg/L
- Níquel: 20 µg/L
- Cobre: 2 mg/L

2.2.3. El Arsénico

El arsénico es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es As y el número atómico 33. Raramente se presenta de forma sólida, aunque pertenece al grupo de los semimetales, ya que muestra propiedades metálicas y no metálicas.

El Arsénico puede ser encontrado de forma natural en los suelos y minerales en pequeñas concentraciones, pudiendo introducirse en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

Una vez introducido en los ecosistemas, se puede encontrar en cualquier forma de vida animal o vegetal, pudiendo llegar hasta el ser humano (CICEM, 2 013).

El arsénico es un metaloide que puede presentarse en formas orgánicas e inorgánicas, siendo las formas inorgánicas, como el arsenito (As(III)) y el arseniato (As(V)), las más tóxicas. El arseniato es más resistente a la degradación y se encuentra comúnmente en aguas superficiales y subterráneas (Terra Latinoam, 2 015).

La movilidad del arsénico en el agua está influenciada por factores como el pH, las condiciones redox y la presencia de otros iones. En condiciones anaeróbicas, es más probable encontrar arsenito, mientras que en condiciones oxidadas predominan las especies de arseniato.

La interacción con sedimentos y otros compuestos químicos puede afectar su concentración y disponibilidad (Salazar, 2021).

2.2.4. La Contaminación del Agua por Arsénico

El arsénico es un metaloide que está en la naturaleza. Se encuentra presente en cantidades abundantes en la corteza de la Tierra. Pero hoy también es una amenaza para la salud humana: 14 millones de personas hoy están expuestas en América Latina a la contaminación por arsénico al consumir agua o alimentos.

La contaminación por arsénico en el agua puede ser de origen natural, a través de la disolución de minerales en depósitos geológicos, o antropogénica, debido a actividades industriales, agrícolas y mineras. Las prácticas agrícolas que utilizan plaguicidas y fertilizantes también contribuyen a la presencia de arsénico en los acuíferos.

El arsénico se libera en las aguas subterráneas como consecuencia de diferentes fenómenos geológicos, como la desintegración de rocas y los procesos volcánicos. Esas aguas suelen ser usadas como agua de bebida o empleada en la cocción de los alimentos por las poblaciones aisladas rurales y periurbanas, no conectadas a redes de agua potable segura.

En América Latina, el problema de la contaminación por arsénico afecta a 14 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Perú y Uruguay. Argentina es una de las áreas más críticas: hay 4 millones de personas expuestas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece recomendaciones claras para gestionar el arsénico en el agua, en cuanto al límite máximo recomendado, que en nuestro país denominamos límite máximo permisible, la OMS recomienda un máximo de 10 µg/L (0,01 mg/L) para el arsénico en agua potable (OMS, 2 022).

2.2.5. Efectos del Arsénico en la Salud

Los efectos sobre la salud por la toxicidad crónica del arsénico incluyen una serie de manifestaciones clínicas llamadas “arsenicosis”. En América Latina, se conoce como “hidro arsenicismo crónico regional endémico (HACRE)” (Villaamil, 2 015), una patología que ha sido asociada con una variedad de efectos que comienzan con lesiones en la piel y pueden derivar en varios tipos de cáncer: piel, pulmón, vejiga, hígado, riñón y próstata. La exposición a este contaminante puede producir desde cáncer hasta infartos con el transcurso de los años.

También el trastorno puede estar asociado a otras enfermedades o efectos neurológicos, gastrointestinales, hematológicos, patologías perinatales y otras manifestaciones clínicas, inmunológicas, efectos vasculares, incluyendo infartos, hipertensión, diabetes, aborto, bajo peso al nacer, hiperqueratosis e hiperpigmentación.

El engrosamiento de las palmas de las manos y los pies, el aumento de la pigmentación de la piel y el desarrollo de cáncer de piel, pulmón y vejiga son los problemas de salud más frecuentemente reportados por la contaminación con arsénico en las aguas.

2.2.6. Rangos de Concentración de Arsénico en el Agua y sus Efectos en la Salud Humana

Rangos de concentración y sus implicaciones según organismos internacionales (OMS, 2 022) y estudios científicos:

2.2.6.1. Niveles Seguros. Por recomendación de la OMS y la EPA (EE. UU), tienen el límite máximo: 10 µg/L (0,01 mg/L), 0,01 ppm, o 10 ppb.

(Por motivos de sencillez y coherencia con la literatura internacional, en particular de los países de habla inglesa, se utilizará, en adelante, la notación de “ppb”, que literalmente se traduciría “partes por billón”, pero que en nuestro idioma significa precisamente “partes por mil millones”, para las concentraciones de arsénico, y la unidad de “ppm” para el TDS).

2.2.6.2. Niveles con Riesgo a Largo Plazo por Exposición crónica. Desde 0,17 ppb hasta menos de 35 ppb.

Puede causar arsenicosis (lesiones cutáneas, neuropatías). Aumento del riesgo de efectos perinatales, como bajo peso al nacer. Cáncer (piel, pulmón, vejiga, hígado, próstata) y enfermedades crónicas (cardiopatías, diabetes).

2.2.6.3. Niveles con Riesgo Agudo. Desde 35 ppb hasta 300 ppb.

Niños y bebés: Riesgo inmediato (diarrea, vómitos, daño neurológico). Adultos: Efectos gastrointestinales, fatiga, ritmo cardíaco anormal.

2.2.6.4. Niveles con toxicidad aguda. Desde 300 ppb hasta 500 ppb.

Irritación gastrointestinal, anemia, daño vascular y nervioso.

2.2.6.5. Niveles con toxicidad aguda grave. >500 ppb.

2.2.7. Técnicas Analíticas de Cuantificación de Arsénico

Existen varios métodos para determinar la presencia de arsénico en el agua potable, cada uno con sus ventajas y limitaciones. La espectroscopía de absorción atómica es uno de los métodos más utilizados para la cuantificación del arsénico en aguas. Este método permite detectar concentraciones muy bajas gracias a su alta sensibilidad.

Se puede mencionar los siguientes métodos de gran exactitud:

- Espectrofotometría de absorción atómica.
- Espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado.

- Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado ICP-MS.
- Cromatografía de líquidos de alta resolución acoplada a ICP-MS para la especiación de Arsénico (HPLC-ICP-MS).

Además de dos métodos clásicos:

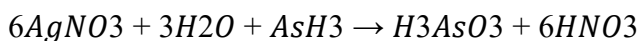
- Método Gutzeit, clásico para la detección de arsénico, implica la generación de arsina que se atrapa en un papel impregnado con un reactivo.
- Voltametría Anódica (ASV), técnica electroquímica sensible que puede detectar niveles bajos de arsénico.

2.2.8. Método de Gutzeit para la Detección de Arsénico

Este método es el fundamento de los actuales kits de prueba de arsénico que han mejorado notablemente en su sensibilidad y precisión en estos últimos años, y tienen precios muy bajos en comparación con los métodos espectro métricos que son demasiado costosos.

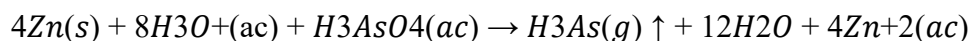
Este método tiene como fundamento el generar arsina (AsH_3) a partir del arsénico presente en el agua mediante el contacto con zinc metálico (Zn^0) en medio ácido, y la posterior reacción del gas arsina (AsH_3) con nitrato de plata o cloruro de mercurio produce una coloración que va del amarillo-naranja al naranja-amarronado, la intensidad de la mancha es proporcional a la concentración de As comparándose con manchas estándar. La reacción tiene un límite de detección de 0,5 ppb (Laborxing, (s.f.)).

La reacción de esta técnica es la siguiente:



Generación de arsina (AsH_3):

La arsina se produce por acción del hidrógeno generado por el Zn^0 en medio ácido en el presente caso se usa ácido sulfúrico (H_2SO_4):



La arsina o hidruro de arsénico (AsH_3) es gaseoso a temperatura ambiente, es inflamable y altamente tóxico. La arsina es más pesada que el aire, soluble en agua, incolora, y con un olor suave a ajo que sólo es percibido cuando se encuentra en altas concentraciones.

La exposición a la arsina provoca hemólisis y fallos renales. Presenta una alta tasa de mortalidad. La mayoría de los casos de intoxicación por arsina han ocurrido en ambientes de trabajo que operaban con este material. La principal forma de absorción es por inhalación.

No existe ningún antídoto para neutralizar la arsina, en casos de intoxicación grave los médicos recomiendan la transfusión de sangre.

2.2.9. Toxicidad Comparativa la Arsina (AsH_3) y de la Fosfina (PH_3)

La toxicidad aguda de la arsina tiene efectos inmediatos: Hemólisis masiva (destrucción de glóbulos rojos), insuficiencia renal, ictericia, orina oscura y fallo multiorgánico (ATSDR, 2 021). Síntomas como dolor de cabeza, debilidad y dificultad respiratoria aparecen incluso a bajas concentraciones.

La arsina (AsH_3) es significativamente más tóxica que la fosfina debido a los menores umbrales de exposición letal (IDLH 3 ppm vs. 50 ppm), a un mecanismo de acción más agresivo: Destrucción inmediata de glóbulos rojos y liberación de arsénico sistémico, y la mayor persistencia de daños: Insuficiencia renal irreversible y carcinogenicidad a largo plazo.

Ambos gases requieren manejo en extremo cuidadoso, pero la arsina representa un riesgo crítico incluso en concentraciones mínimas.

Tabla 1*Comparación de Peligrosidad de la Arsina y la Fosfina*

Parámetro	Fosfina (PH ₃)	Arsina (AsH ₃)
IDLH (NIOSH)	50 ppm	3 ppm
PEL (OSHA)	0,3 ppm	0,05 ppm
Letalidad	25-50 ppm (30 min)	10 ppm (letal en horas)
Efecto Crítico	Edema pulmonar, fallo cardíaco	Hemólisis, fallo renal
Olor de Alerta	Ajo/pescado (≥0.3 ppm)	Ajo (≥0.5 ppm)

Nota. IDLH (NIOSH), Immediately Dangerous to Life or Health (National Institute of Occupational Safety and Health).

PEL (OSHA), Permissible Exposure Limit (Occupational Safety and Health Administration).

2.2.10. Remoción del Arsénico

2.2.10.1. Tecnologías Convencionales. Las tecnologías convencionales más usadas para la remoción de arsénico del agua son:

- Coagulación-precipitación-filtración
- Oxidación- precipitación-filtración
- Adsorción utilizando medios de hidróxido de hierro granular
- Intercambio de iones
- Filtración de membrana: ósmosis inversa / nanofiltración / ultrafiltración /micro

filtración

El proceso de coagulación-filtración consiste en mezclar el coagulante en todo el medio acuoso para que se hidrolice y forme un compuesto con carga positiva. La adsorción se basa en la adhesión del arsénico a la superficie de un adsorbente sólido. Los adsorbentes a base de hidróxido de hierro son una técnica consolidada que se utiliza en todo el mundo (Zimmapan, s.f.).

El comportamiento químico del arsénico en el agua hace que los procesos más eficientes remuevan el arsénico en la forma de arsenato As (V) y no arsenito As (III) ya que éste típicamente no presenta carga por debajo de pH 9,2. Por lo tanto, el tratamiento de remoción de arsénico debe incluir una etapa de oxidación para convertir el arsenito en arsenato.

2.2.10.2. Tecnologías Alternativas. Existen muchas alternativas innovadoras para la remoción de arsénico del agua que se enfocan a dar una alternativa para comunidades rurales. Entre estas tecnologías se tienen las siguientes:

- Tecnologías solares
- Inmovilización de As “in situ” (Barreras Reactivas Permeables)
- Adsorción en óxidos de Fe (Columnas reactivas)
- Adsorción en MnO₂, hidróxido férrico granular (GFH)
- Fito-tecnologías

2.2.10.3. Tecnologías Artesanales. Existen varios métodos artesanales que han sido ensayados para la remoción de arsénico del agua potable, ofrecen soluciones accesibles y sostenibles para comunidades que enfrentan el desafío del arsénico en el agua potable (Huillca, 2019). Algunos de los métodos más destacados son:

- Filtro Casero con Materiales Locales. Mediante el uso de materiales como Botellas de plástico, tela, algodón, virulana de acero, y alfileres o alambre. Este filtro utiliza capas de virulana y algodón para adsorber el arsénico, mostrando eficacia en la reducción de sus niveles.

Otros diseños utilizan arena, clavos, carbón de hueso y leña, baldes plásticos y capas de arena, clavos y carbón para eliminar arsénico y fluoruros.

- Oxidación Solar SORAS (Solar Oxidation and Removal of Arsenic). Utiliza la luz solar para oxidar el arsénico, formando compuestos que pueden ser removidos por adsorción sobre óxidos hidróxidos de hierro. Este método requiere entre 2 y 4 horas de exposición solar para reducir el arsénico a niveles seguros (Chavez, 2011).
- Coagulación-Floculación con Floculantes Naturales. Utiliza floculantes naturales como el mozote (*Triumfetta semitriloba*, planta silvestre considerada “maleza”, nativa desde Florida hasta Argentina) junto con cloruro de hierro(III) para precipitar el arsénico.
- Uso de Carbón Activado Artesanal. El carbón activado producido artesanalmente, como el derivado de cáscara de jícara (*Crescentia alata*, árbol silvestre típico en Centro América) puede ser utilizado para remover arsénico del agua. Los ensayos han demostrado una eficacia significativa en la remoción de arsénico cuando se combina con óxidos de hierro.
- Técnica RAOS Modificada. Utiliza el Fe(III) presente en el agua y jugo de limón bajo luz solar para generar óxidos de hierro que adsorben el arsénico. Esta técnica ha mostrado remociones superiores al 95% en algunas aplicaciones.

2.3. Bases Conceptuales

2.3.1. Evaluación de la Calidad del Agua

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda varios indicadores específicos para evaluar la calidad del agua, abarcando parámetros físicos, químicos, biológicos y radiológicos. Estas recomendaciones han sido adoptadas por las leyes de la mayoría de los países incluido el Perú.

Según las leyes peruanas, los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que deben evaluarse en el agua potable incluyen:

2.3.1.1. Parámetros Físicos:

- Color: Debe ser inferior a 15 unidades de color verdadero en la escala Pt/Co.
- Turbidez: Recomendada por debajo de 5 UNF (Unidades Nefelométricas de Turbidez).
- pH: Entre 6,5 y 9,5.
- Sabor y Olor: Deben ser aceptables para el consumo humano.
- Conductividad: Depende del tipo de uso del agua, pero generalmente se recomienda un valor máximo de 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para agua potable.
- Sólidos Totales Disueltos (TDS): No debe superar los 1 000 ppm para agua potable, aunque valores más bajos son preferibles.

2.3.1.2. Parámetros Químicos:

- Metales Pesados: Arsénico (<10 ppb), plomo, mercurio, cadmio, cromo total, níquel, etc.
- Nitratos y Nitritos: Limitados para prevenir metahemoglobinemia.
- Fluoruros: Recomendado entre 0,5 y 1,5 ppm para prevenir caries dentales.
- Cianuro Total y Libre: Limitado a 0,07 ppm y 0,02 ppm respectivamente.
- Cloruros y Sulfatos: No deben superar los 250 ppm.
- Dureza del Agua: No tiene un límite específico, pero valores altos pueden afectar la calidad estética del agua.

2.3.1.3. Parámetros Microbiológicos:

- Coliformes Totales y Termotolerantes (E. coli): Ausencia en 100 mL.

- Virus: Ausencia en 100 mL.
- Huevos y Larvas de Helmintos, Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos:

Ausencia en 100 mL.

- Bacterias Heterotróficas: Menos de 500 UFC/mL a 35°C.

Los parámetros radiológicos no se mencionan específicamente en las leyes peruanas, pero se recomienda seguir las guías internacionales para radionucleidos.

Estos parámetros son fundamentales para garantizar la calidad del agua potable, alineándose con las normas sanitarias establecidas por la DIGESA y otros organismos reguladores.

2.3.2. El TDS en el Agua

El Total de Sólidos Disueltos, TDS (Total Dissolved Solids), se refiere a la cantidad total de materia orgánica e inorgánica disuelta en el agua, incluyendo minerales, sales, metales y otros compuestos (Hanna, s.f.). Estos sólidos pueden incluir bicarbonatos, calcio, cloruros, magnesio, nitratos, sulfatos, así como materia orgánica como algas, bacterias y patógenos.

La medición de TDS ayuda a determinar si la calidad del agua es adecuada para el consumo humano. Niveles bajos (0-300 ppm) suelen indicar agua de buena calidad, mientras que valores superiores a 500 ppm pueden ser preocupantes.

El TDS es un buen indicador general de la calidad del agua, pero no proporciona detalles sobre las sustancias específicas presentes. No debe ser el único criterio para evaluar la potabilidad del agua; se recomienda realizar análisis más completos para obtener un perfil detallado. Aun así, un nivel alto de TDS puede incluir minerales beneficiosos como calcio y magnesio, pero también puede indicar contaminantes nocivos. Los TDS están relacionados con la dureza del agua, pero no solo miden las sales de calcio y magnesio responsables de esta dureza.

2.3.2.1. Recomendaciones de la OMS sobre el TDS. La OMS no establece un límite máximo específico para el TDS en el agua potable. Sin embargo, proporciona orientaciones basadas en la aceptabilidad del agua para el consumo humano y sus efectos en el sabor y la salud (OMS, 2022).

Niveles de aceptabilidad del agua según su TDS:

< 300 ppm: Considerada excelente para el consumo.

Entre 300 y 600 ppm: Aceptable, pero puede tener un ligero sabor.

Entre 600 y 900 ppm: Regular, pero puede ser rechazada por su sabor.

Entre 900 y 1 200 ppm: Pobre, no recomendable para consumo.

> 1 200 ppm: Inaceptable debido a su sabor desagradable y posibles efectos en la salud.

Efectos en el sabor:

La OMS señala que el agua con TDS superiores a 1 000 ppm puede tener un sabor desagradable y formar sarro excesivo en tuberías y electrodomésticos.

Aguas con TDS muy bajos (< 100 ppm) pueden ser insípidas y carecer de minerales hidratantes.

Impacto en la salud:

La OMS indica que no hay evidencia reciente que relacione directamente los TDS con efectos negativos en la salud.

Aguas con altos TDS pueden contener minerales beneficiosos como calcio y magnesio, que son esenciales para la salud.

La OMS no establece un límite máximo para los TDS debido a la variabilidad en la composición de los minerales.

Los valores de TDS deben interpretarse en función de la composición mineral específica del agua y las condiciones locales.

La medición de TDS no debe ser el único criterio para evaluar la calidad del agua; se recomienda realizar análisis adicionales para detectar contaminantes específicos.

Se afirma que el agua con TDS inferior a 100 ppm puede percibirse como insípida y carente de minerales, lo que puede llevar a su rechazo por parte de los consumidores, que los minerales como el calcio y el magnesio, presentes en niveles adecuados, son esenciales para la salud, y que el agua con TDS muy bajo carece de estos nutrientes, lo que puede reducir su valor nutritivo, y que la ausencia total de minerales puede resultar en un sabor desagradable.

2.3.2.2. El Medidor de TDS en el Agua. Un medidor TDS, es un aparato electrónico que sirve para medir la concentración de sólidos disueltos. Funciona a pilas y la mayoría de modelos incorporan también la medición de la temperatura del agua. Así, los lectores de TDS se encargan de medir la concentración total de los sólidos disueltos en el agua, por ejemplo, de beber, de piscinas, de acuarios, de spas, etc.

El principio de funcionamiento de un lector de TDS se basa en la conductividad del agua, teniendo en cuenta que todos los sólidos disueltos en el agua tienen algo de carga eléctrica. La medida que el lector utiliza es en ppm (partes por millón). Por ejemplo, una lectura TDS de 100 ppm indica que hay 100 mg de partículas disueltas en un kilogramo de agua. Además, el agua pura o agua destilada no conduce la electricidad, por lo que si se sumerge un lector de TDS en un agua totalmente destilada el resultado será “0” o un número muy bajo en el caso de que exista algún rastro de minerales en el agua. Un agua con más minerales conduce más electricidad que un agua sin minerales, ya que la carga de electrones que componen los minerales es lo que conduce la electricidad.



Figura 1. Medidor de TDS, total de sólidos disueltos

2.3.3. La electrólisis del Agua

2.3.3.1. Probador Electrolítico del Agua. Se fundamenta en la electrólisis del agua que es la descomposición del agua en sus componentes elementales mediante la aplicación de una corriente eléctrica. En el proceso, se forman sobre dos superficies inertes hidrógeno y oxígeno molecular, H_2 y O_2 . Estas dos superficies se conocen por el nombre de electrodos.

Cuando el agua a someterse a prueba es pura, como en el caso de agua destilada, desionizada, o agua producida por ósmosis inversa, en el recipiente donde se realiza el proceso se mantiene clara y transparente, solamente se observa el burbujeo del hidrógeno y oxígeno molecular.

Cuando el agua sometida a prueba tiene impurezas como sales minerales, estas se descomponen liberando los metales que se observa que toman sus colores originales naturales. De

esta forma se puede discriminar visualmente la diferencia entre agua alta en TDS y agua baja en TDS, de manera espectacularmente contundente.

Es un instrumento fácil de operar con pruebas rápidas para obtener resultados obvios. Los metales reducidos durante el proceso, o los ácidos o bacterias, etc., se pueden identificar por el color que toman en solución o en la costra sobrenadante.



Figura 2. Probador electrolítico del agua

Resultados del análisis de pruebas:

Negro: metales pesados

Amarillo: Ácidos disueltos, flúor y otras materias orgánicas. Verde: arsénico, mercurio, plomo, cobre, sodio.

Azul: bacterias, virus, carcinógenos, fertilizantes químicos, pesticidas, etc.

Rojo: hierro, óxido y bacterias.

Blanco: plomo, zinc, mercurio, suciedad inorgánica.

2.3.4. La Concentración de Arsénico en el Agua

2.3.4.1. Kit de Prueba de Arsénico. Existen pruebas colorimétricas para determinar la presencia de arsénico en el agua. El fundamento de esta técnica se basa en la reacción química entre el arsénico y un reactivo químico específico, que produce un cambio de coloración. La intensidad del color producido es proporcional a la cantidad de arsénico presente en la muestra.

Existen varios tipos de pruebas colorimétricas para la detección de arsénico en el agua, como la prueba de Gutzeit, la prueba de Marsh, la prueba de Reinsch y la prueba de la plata. Cada prueba utiliza diferentes reactivos químicos.

Las pruebas colorimétricas son una técnica de detección cualitativa, que solo pueden indicar la presencia o ausencia de arsénico en el agua, pero no la cantidad exacta.

El kit de prueba de arsénico elegido, el AQUALYTIC, es un kit de prueba de arsénico de bajo rango calibrado para lectura colorimétrica en el rango de concentraciones de: 0; 5; 10; 25; 50; 100; 250; 500 ppb / 1 As 3 + / 5+), debido a su elevada sensibilidad de detección, es apropiado para la determinación de arsénico en agua potable. El viraje de color de las tiras de papel es de blanco a amarillo-marrón. Los fabricantes no especifican los reactivos exactos utilizados en el kit.



Figura 3. Kit de prueba del arsénico

2.3.5. Participación Comunitaria en la Gestión del Agua

La comunidad campesina de Quispillaccta tiene una larga tradición de gestión del recurso hídrico, que viene de épocas pre hispánicas, actualmente, desde hace más de 25 años organizan, promocionan y generan la “Siembra y cosecha del agua” mediante la construcción de “qochas” en su territorio alto andino, cuya práctica se viene difundiendo a nivel nacional y mundial.

En este momento el desafío local está comprometido con el "Plan Comunitario de Control y Monitoreo para Asegurar la Calidad del Agua Potable con Especial Enfoque en la Vigilancia de Nivel de Metales Pesados y Arsénico en el Suministro", planificando de acciones sostenibles para la implementación de soluciones efectivas. Para este efecto se han programado una serie de talleres para mejorar las capacidades de los comuneros en temas de gestión de recursos hídricos, la calidad del agua para consumo humano, la contaminación del agua por metales pesados y arsénico, métodos artesanales de remoción del arsénico del agua, fito remediación de aguas contaminadas, entre muchos otros temas.

De esta forma se fortalecerá las habilidades locales para la gestión del agua, mediante la capacitación y el empoderamiento de las comunidades para que puedan gestionar sus propios recursos hídricos de manera sostenible para abordar desafíos específicos del entorno y garantizar el acceso equitativo a este recurso vital evitando conflictos comunales.

2.4. Marco Legal

Decreto Supremo N° 031-2010-SA (Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano). Establece los límites máximos permisibles (LMP) para parámetros químicos, incluyendo metales pesados y arsénico. Arsénico: LMP de 0.01 mg/L (10 ppb), alineado con la recomendación de la OMS. Obliga a los gobiernos regionales y locales a realizar vigilancia sanitaria y garantizar que los sistemas de abastecimiento cumplan estos límites.

Ley General de Salud (Ley N° 26842). Asigna a la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) la supervisión y control de la calidad del agua, incluyendo la declaración de emergencias sanitarias si se detectan riesgos.

Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (modificado por DS N° 004-2017-MINAM). Define los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para diferentes categorías de agua. Para agua destinada a consumo humano (Categoría 1), el arsénico debe reducirse mediante tratamiento para cumplir el LMP sanitario (0.01 mg/L).

Ley N° 31189, ley para fortalecer la Prevención, Mitigación y Atención de la Salud afectada por la contaminación con metales pesados y otras sustancias químicas.

DECRETO SUPREMO N.º 037-2021-MINAM, donde el ejecutivo aprobó el Plan Especial Multisectorial para la Intervención Integral a favor de la Población expuesta a Metales Pesados, Metaloides y otras sustancias químicas tóxicas.

Directiva Sanitaria N° 058- MINS/DIGESA-V.01.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque mixto, con predominancia del método cuantitativo, complementado por técnicas cualitativas orientadas a la participación comunitaria. El estudio se desarrolla como un caso específico en la comunidad de Quispillaccta, con el objetivo de identificar, caracterizar y abordar la contaminación por arsénico en las fuentes de agua destinadas al consumo humano.

El componente cuantitativo se basa en la aplicación de kits de detección rápida y análisis en laboratorio con tecnología especializada, permitiendo obtener mediciones precisas de concentración de arsénico en cada punto muestreado. Estas muestras son georreferenciadas mediante coordenadas GPS, lo que facilita el análisis espacial de la contaminación y la elaboración de mapas temáticos. Los resultados se contrastan con los límites permisibles establecidos por normativas nacionales e internacionales, clasificando las fuentes como aptas o no aptas para el consumo. El componente cualitativo se desarrolla a través de talleres de sensibilización y espacios de diálogo con autoridades locales, profesionales en gestión hídrica y miembros de la comunidad, quienes aportan conocimientos tradicionales sobre la siembra y cosecha del agua.

Una vez completado el mapeo de la contaminación, se evalúan medidas de mitigación como la implementación de sistemas de purificación o el cambio de fuente de abastecimiento. Los hallazgos se socializan en reuniones comunitarias, promoviendo la toma de decisiones informadas en salud pública, gestión ambiental y planificación territorial.

Este estudio de caso constituye una experiencia replicable, cuya metodología puede ser adaptada y perfeccionada para su aplicación en otras comunidades de la región y en contextos internacionales con problemáticas similares.

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo, complementado por una fase exploratoria de carácter cualitativo orientada a la comprensión inicial del contexto comunitario. El diseño es no experimental, ya que no se manipulan variables, sino que se observan y analizan tal como ocurren en el entorno natural. El nivel es descriptivo y analítico, dado que se busca tanto caracterizar el estado actual de las fuentes de agua como interpretar los patrones de contaminación por arsénico en la comunidad de Quispillaccta.

La aplicación de técnicas analíticas cuantitativas en un diseño no experimental permite obtener datos precisos sobre la concentración de arsénico, identificar zonas críticas y fundamentar propuestas de intervención orientadas a la mitigación del riesgo y la protección de la salud colectiva.

3.2. Métodos

Sobre la base de lo afirmado en el tipo y nivel de investigación, se puede detallar el procedimiento y los métodos seguidos para obtener los datos relevantes:

Se sigue una metodología progresiva que inicia con la recolección de las muestras en las fuentes de agua: manantiales de agua subterránea, riachuelos, acequias, y aguas entubadas, etc. Inmediatamente después se usan los instrumentos básicos: el medidor de TDS (Total de Sólidos Disueltos) y el probador electrolítico del agua, para obtener los datos preliminares de una posible contaminación del agua.

A continuación, el uso del kit de prueba de arsénico, que mostrará el nivel de contaminación de las muestras a un nivel semicuantitativo, en el nivel de precisión que ofrece el método colorimétrico de lectura de tal kit.

Finalmente, las muestras de agua que según estas pruebas son las más contaminadas, serán enviadas a un laboratorio certificado.

3.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación del presente estudio es descriptivo, cuantitativo y no experimental, orientado a obtener datos sobre los niveles de arsénico en distintos puntos, sin intervenir ni modificar las condiciones naturales. Su propósito es describir objetivamente la realidad existente con precisión.

La variable independiente está constituida por las muestras de agua recolectadas de fuentes o manantiales específicos, mientras que la variable dependiente corresponde a la concentración de arsénico detectada en dichas muestras. Aunque el estudio es no experimental, la selección de las muestras se realiza mediante un pre-experimento, que permite establecer criterios iniciales para el muestreo.

Este proyecto se centra en el mapeo de las fuentes de agua potable de la comunidad de Quispillaqta, con el objetivo de identificar aquellas que presentan contaminación por arsénico. En una primera etapa, se realiza una evaluación cualitativa y semicuantitativa del nivel de contaminación. Posteriormente, se lleva a cabo una determinación cuantitativa precisa mediante análisis en un laboratorio certificado, lo que permitirá establecer el grado de afectación y orientar acciones de mitigación.

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

La población del presente trabajo de tesis está conformada por los 14 centros poblados que conforman el espacio geográfico de la comunidad de Quispillaccta, ubicada en el Distrito de Chuschi, Provincia de Cangallo, Región de Ayacucho, entre ellos: Illaccpampa, Yuracc Cruz, Llacctahurán, Pirhuamarca, Pirhuamarca, Socobamba, Huertahuasi, Cerce, Tuco, Cuchoquesera, Pampamarca, Puncupata, Unión Potrero, Catalinayocc, y Musuccllaqta.

3.4.2. Muestra

Las muestras a analizarse provienen de las fuentes de agua de los 14 centros poblados de la Comunidad Campesina de Quispillaccta, conformados por manantiales de agua subterránea, riachuelos, acequias, y aguas entubadas, utilizadas para consumo humano, así como también algunas otras fuentes utilizadas para riego, las cuales están identificadas, georreferenciadas y mapeadas en documentos adjuntos al presente trabajo de tesis, de todos los cuales, para las pruebas con el kit de detección del arsénico se eligieron 36 muestras, por consideraciones de su importancia para el consumo humano, las cuales corresponden a: Ruqruqa, Chullkumayu, Antahuayqo Mollebamba, Puquio Muqu, Itana huaycco, Amacheta, Wasa Puquio, Qinwapuquio 1, Chilla Pampa, Uchuy Puquio, Amacheta, Paqcha (Quispillaccta), Itana Huaycco, Espiritu Puquio, Matuma Capilla 2, Yakuqochaq, Pachqa Quispillaccta, Miski Puquio, Cerce Puquio, Wiska Waycco, Pillahua-Witkukucho, Pusu Huaycco, Witku Pillahua, Witku Escalera (potable), Itana Huaycco – Milqui, Wayllachayocc, Yaku Upyana, Lucerochayocc, Rosoqo Lliwa, Qaywani Puquio, Yutu Puquio, Condepuquio, Qallucha Qasa, Cruz Qasa AP, Betayaku 3, Siniga Lliwa.

3.5. Muestreo

3.5.1. Procedimiento de Obtención de Muestras

a) Recoger las muestras de agua en las fuentes, en envases de plástico limpios (botellas de agua mineral o botellas de gaseosa usadas), enjuagarlas varias veces con la misma agua a ser recogida como muestra. Llenar la botella con la muestra y cerrarla firmemente.

b) Llevar las muestras, mediante el medio de transporte disponible (camioneta, motocicleta, a caballo, o a pie) en ese momento al lugar donde se desarrollan los talleres prácticos de análisis de la calidad del agua.

3.5.2. Procedimiento de Obtención de Datos

a) Las muestras se someten a pruebas preliminares de inspección de aspectos de turbidez y color.

b) Las muestras de aspecto incoloro y translúcido se someten a la medición de TDS y pH.

c) Se clasifican las muestras sobre la base de su contenido de TDS.

d) Las muestras con lectura superior a 50 ppm de TDS, se analizan con el kit de arsénico, para ver la concentración aproximada de arsénico.

e) Se organizan el lugar de procedencia las muestras y la lectura del contenido de arsénico de las mismas, y se elabora una lista en orden ascendente de contenido de arsénico.

f) Se elabora una lista de las fuentes de agua con contenido de arsénico, en orden ascendente de contaminación.

g) Finalmente, las muestras de las fuentes que presentan la mayor contaminación identificadas en el paso previo se llevan a un análisis cuantitativo exacto en un laboratorio certificado de la ciudad de Lima.

3.6. Técnicas e Instrumentos

Las técnicas que se utilizaron para la obtención de datos fue la recolección de muestras de todas las fuentes de agua de la comunidad utilizadas para consumo humano, además de las fuentes de agua alejadas con potencial para ser usadas en el futuro.

Una vez obtenidas las muestras se utilizó la técnica de la inspección visual y organolépticas, y entrevista a los portadores de las muestras. Inmediatamente después se utilizaron los instrumentos: medidor de TDS y probador electrolítico del agua, para las pruebas preliminares.

Para identificar a las muestras sospechosas de presentar contaminación por arsénico, se utilizaron medidores de TDS, para seleccionar las muestras con mayor lectura de TDS, bajo la suposición generalizada que a mayor cantidad de sólidos disueltos es mayor la probabilidad de contaminación del agua en general.

Para medir la concentración de arsénico en las muestras se utilizó un kit de detección de arsénico colorimétrico semicuantitativo, con sensibilidad de detección de 0 a 500 ppb.

Finalmente, las muestras con mayor lectura de concentración de arsénico fueron enviadas a un laboratorio acreditado en la ciudad de Lima para cuantificación definitiva a un laboratorio certificado por INACAL mediante métodos espectro métricos.

3.7. Validez y Confiabilidad de Instrumentos

3.7.1. El Medidor de TDS

La validez de un medidor TDS para agua potable es limitada; mide la cantidad total de sólidos disueltos (minerales y otras sustancias) pero no puede diferenciar entre los que son inocuos y los peligrosos como metales pesados o patógenos. Su confiabilidad, por otro lado, depende de la calidad del dispositivo y su uso adecuado, permitiendo un monitoreo básico para detectar cambios

en la cantidad de sólidos disueltos. Para un análisis completo y confiable, se requiere un análisis detallado en un laboratorio acreditado.

Es una herramienta sencilla y económica para obtener una idea general de la cantidad de sólidos disueltos que puede estar relacionada con la presencia metales pesados, arsénico, o contaminantes en el agua.

3.7.2. El Probador Electrolítico del Agua

La validez del probador electrolítico del agua es también limitada, aunque teóricamente debido al papel de la corriente, las sales de los metales originales, como plomo, arsénico, cromo, manganeso, potasio, cobalto, etc. disueltos en agua se reducen gradualmente y se reúnen en iones metálicos de diferentes colores, evidenciando visualmente la contaminación, hay objeciones, en particular, de los embotelladores de aguas minerales, de que los colores se generan principalmente por la reacción del electrodo de metal en contacto con el oxígeno (óxidos de hierro) producido en el proceso electrolítico (Anebae, 2016). Aun así, no deja de ser un instrumento útil que proporciona evidencia visual de la presencia de minerales disueltos en el agua.

3.7.3. El Kit de Detección del Arsénico

La validez y confiabilidad de los kits colorimétricos para arsénico pueden ser variables; si bien algunos kits de campo son confiables para detectar niveles de cumplimiento con normas ambientales, pueden tener limitaciones en sensibilidad y pueden verse afectados por interferencias como el sulfuro o fosfatos. La confiabilidad también depende del método específico (como el de Gutzeit) y la capacitación del usuario para evitar errores en la lectura de color.

Como resultado de la mejora continua de la tecnología a nivel mundial, actualmente se ofrecen en venta kits de arsénico que pueden ser lo suficientemente sensibles para detectar

concentraciones muy bajas de arsénico, con una precisión de hasta el 5% según algunos fabricantes.

Los kits son útiles para evaluar la seguridad del agua potable en comunidades rurales y el cumplimiento de las normativas ambientales en el lugar. Pueden servir para una evaluación rápida de los niveles de arsénico, antes de realizar análisis más detallados en laboratorios acreditados.

3.7.4. El Laboratorio Acreditado

Los laboratorios acreditados ofrecen alta validez y confiabilidad porque su acreditación, según la norma ISO/IEC 17025, garantiza la competencia técnica del personal y la fiabilidad de los métodos y equipos. Utilizan métodos analíticos validados y equipos adecuados, lo que garantiza la exactitud de las mediciones, del arsénico, entre muchos otros elementos o sustancias.

3.8. Técnicas de Procesamiento de Datos

3.8.1. Obtención de Datos Preliminares

Nivel de Turbidez, por simple inspección visual ante los rayos del sol, para descartar las muestras turbias, que por el contenido de sólidos suspendidos podrían interferir las mediciones posteriores.

Medición del pH, mediante el uso de tiras colorimétricas, o mediante pH-metro digital, para descartar muestras muy ácidas o básicas, se establece de 6,5 a 8,0 como rango aceptable.

Medición del contenido de sólidos disueltos, por medio del uso del medidor TDS, para clasificar las muestras en orden ascendente o descendente de contenido de sólidos disueltos, se clasifican como muestras con sospecha de contaminación, las que presenten mayor lectura de TDS. Prueba electrolítica del agua, mediante el probador electrolítico del agua, se prueban las muestras con lectura alta de TDS, para descartar las muestras que luego de la prueba no presenten coloración propia de metales pesados o arsénico.

3.8.2. Obtención de Datos Definitivos

Medición semicuantitativa del contenido de arsénico en las muestras de agua, mediante el kit de prueba de arsénico, para establecer un estimado del nivel de contaminación y clasificar las muestras en orden ascendente o descendente de concentración de arsénico.

Medición cuantitativa del contenido de arsénico en las muestras de agua, que se realiza mediante métodos espectroscópicos en laboratorios acreditados por INACAL en la ciudad de Lima, a las muestras contaminadas elegidas que se envían siguiendo un protocolo especial.

3.8.3. Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos de la medición del contenido de sólidos disueltos totales TDS de todas las muestras de agua, mediante un análisis cualitativo estadístico descriptivo, se organizan en hojas de cálculo EXCEL del Microsoft OFFICE, para determinar los rangos mínimo y máximo de contenido de TDS, para determinar las muestras de agua de las fuentes identificadas, que deben pasar a la siguiente etapa del monitoreo de la contaminación por arsénico. A continuación, los datos obtenidos de la medición del nivel de contaminación por arsénico de las muestras de agua elegidas, mediante el análisis descrito en las hojas de cálculo se organizan de manera ascendente y descendente, para determinar los rangos mínimo y máximo de contenido de arsénico, para identificar las muestras de agua de las fuentes con contenido de arsénico menores a los límites máximos permisibles, LMP, las muestras con contenido de arsénico potencialmente peligrosas, y las muestras con alto contenido de arsénico.

En estos datos ordenados se observan los datos relevantes, máximos, mínimos, así como también los rangos de contaminación.

3.9. Aspectos Éticos

Los aspectos éticos que se pueden destacar en el trabajo de investigación que subyacen al presente trabajo de tesis, contribuyen a que la investigación sea científicamente válida, socialmente responsable y respetuosa de las tradiciones e idiosincrasia de la comunidad campesina de Quispillaqta.

3.9.1. Salud y Bienestar de la Comunidad

La investigación aborda un problema que afecta históricamente la salud de los habitantes de Quispillaqta, buscando rescatarlos de los daños causados por la contaminación con arsénico en el agua, lo cual es un compromiso ético fundamental.

3.9.2. Responsabilidad Social

Se asume la responsabilidad de informar con precisión y transparencia sobre los niveles de contaminación, dando la alerta necesaria para promover acciones de reducción de la contaminación.

3.9.3. Participación y Cooperación Comunitaria

La propuesta incluye la participación de la comunidad en la búsqueda de soluciones, respetando sus conocimientos, tradiciones y autonomía. Además del intento del uso de métodos artesanales con materiales locales.

3.9.4. Integridad Científica

El diseño metodológico riguroso y el uso de instrumentos adecuados garantizan la veracidad y confiabilidad de los resultados, respetando la ética en la investigación científica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la Investigación

Para el presente trabajo de investigación, se tenían registrados en la comunidad de Quispillaccta 171 fuentes de agua, de las cuales 121 de ellas están georreferenciadas y con sus altitudes determinadas, que ascienden progresivamente desde el manantial “Pachqa Quispillaccta” en el centro poblado de Villa Vista a 3 194 metros sobre el nivel del mar, hasta “Qilluy Huaycco Puquio 2” a 4 698 metros, que por su toponimia se puede interpretar como un manantial riachuelo.

De estas 171 fuentes de agua, las muestras de 136 de las mismas fueron sometidas a la prueba preliminar del TDS, bajo la consideración de que actualmente están destinadas para consumo humano, riego, o tienen el potencial de ser utilizadas en el futuro. Esas lecturas están registradas en la hoja Excel elaborada por los directivos de la comunidad.

De las 136 muestras sometidas a la prueba preliminar del TDS, se seleccionaron 36 muestras para someterlas a la prueba del kit de arsénico, por la consideración práctica de que las fuentes de donde fueron extraídas actualmente se utilizan para consumo o riego en las cercanías de los centros poblados.

Finalmente, se eligió 3 muestras de las fuentes de agua más representativas, para enviarlas al laboratorio acreditado AGQ Labs de la ciudad de Lima, para cuantificación exacta de la concentración de arsénico, para fines de confirmación de la validez de la metodología adoptada. Puesto que el proyecto inicial abarcaba metales pesados y arsénico, se encargó el análisis de: arsénico, cadmio, mercurio, y plomo.

4.1.1. Resultados de las Pruebas Preliminares Mediante el Medidor de TDS

Las lecturas de TDS de las 136 muestras elegidas, sometidas a la prueba preliminar del TDS, se muestran agrupadas en la Tabla 2, de acuerdo a los criterios de aceptabilidad y sabor del agua según la OMS.

Tabla 2

Resultados Preliminares de las Mediciones de TDS

Criterios de aceptabilidad y sabor	Rango de TDS, ppm	Número de fuentes de agua
Insípida	< 100	50
Excelente	100 - 300	56
Aceptable, ligero sabor	300 - 600	19
Regular, rechazada por su sabor	600 - 900	10
Pobre, no recomendable	900 - 1200	1
TOTAL		136

Nota. Elaboración propia con los rangos ofrecidos por la OMS.

Bajo este rango de criterios se puede asegurar que el 78% de la población consume agua potable en el rango de sabor entre insípido y excelente.

4.1.2. Resultados de la Medición de la Concentración de Arsénico con el Kit de Arsénico

Se realizaron las mediciones de las 36 muestras elegidas con el kit colorimétrico de arsénico, y se organizaron las lecturas juntamente con los valores de TDS medidos previamente, y se muestran conjuntamente con el nombre de la localidad del centro poblado y el nombre de la fuente, en la Tabla 3 en orden descendente de valores de TDS, y en la Tabla 4 en orden descendente de concentraciones de arsénico.

Tabla 3*Resultados, Según el TDS en Orden Descendente*

Localidad	Fuente de agua	TDS, ppm	As, ppb
Villa Vista	<i>Ruqruqa</i>	1007	50
Pirhuamarca	<i>Chullkumayu</i>	717	10
Villa Vista	<i>Antahuayqo Mollebamba</i>	700	500
Llacctahurán	<i>Puquio Muqu</i>	658	5
Villa Vista	<i>Itana huaycco</i>	651	500
Villa Vista	<i>Amacheta</i>	642	250
Pirhuamarca	<i>Wasa Puquio</i>	623	400
Villa Vista	<i>Qinwapuquio 1</i>	534	5
Villa Vista	<i>Chilla Pampa</i>	525	250
Pirhuamarca	<i>Uchuy Puquio</i>	504	500
Villa Vista	<i>Amacheta</i>	499	250
Villa Vista	<i>Paqcha (Quispillaccta)</i>	462	5
Villa Vista	<i>Itana Huaycco</i>	437	500
Pirhuamarca	<i>Espiritu Puquio</i>	419	5
Villa Vista	<i>Matuma Capilla 2</i>	388	50
Pirhuamarca	<i>Yakuqochaq</i>	388	10
Villa Vista	<i>Pachqa Quispillaccta</i>	374	10
Pirhuamarca	<i>Miski Puquio</i>	365	5
Pirhuamarca	<i>Cerce Puquio</i>	365	5
Tuco	<i>Wiska Waycco</i>	285	10
Villa Vista	<i>Pillahua-Witkukucho</i>	277	50
Llacctahurán	<i>Pusu Huaycco</i>	248	5
Villa Vista	<i>Witku Pillahua</i>	201	25
Villa Vista	<i>Witku Escalera (potable)</i>	187	250
Villa Vista	<i>Iltana Huaycco - Milqui</i>	187	250
Tuco	<i>Wayllachayocc</i>	186	50
Tuco	<i>Yaku Upyana</i>	181	10
Tuco	<i>Lucerochayocc</i>	171	10
Tuco	<i>Rosoqo Lliwa</i>	168	100
Pirhuamarca	<i>Qaywani Puquio</i>	161	25
Socobamba	<i>Yutu Puquio</i>	160	10
Pirhuamarca	<i>Condepuquio</i>	141	5
Union Potrero	<i>Qallucha Qasa</i>	113	100
Pirhuamarca	<i>Cruz Qasa AP</i>	28	10
Villa Vista	<i>Betayaku 3</i>	22	10
Cuchoquesera	<i>Siniga Lliwa</i>	17	5

Nota. Datos extraídos dela tabla completa que va en el anexo con GPS y altitud.

Tabla 4*Concentración de Arsénico en Orden Descendente*

Localidad	Fuente de agua	TDS, ppm	As, ppb
Villa Vista	<i>Antahuayqo Mollebamba</i>	700	500
Villa Vista	<i>Itana Huaycco</i>	651	500
Pirhuamarca	<i>Uchuy Puquio</i>	504	500
Villa Vista	<i>Itana Huaycco</i>	437	500
Pirhuamarca	<i>Wasa Puquio</i>	623	400
Villa Vista	<i>Amacheta</i>	642	250
Villa Vista	<i>Chilla Pampa</i>	525	250
Villa Vista	<i>Amacheta</i>	499	250
Villa Vista	<i>Witku Escalera (potable)</i>	187	250
Villa Vista	<i>Itana Huaycco - Milqui</i>	187	250
Tuco	<i>Rosoqo Lliwa</i>	168	100
Union Potrero	<i>Qallucha Qasa</i>	113	100
Villa Vista	<i>Rugruqa</i>	1007	50
Villa Vista	<i>Matuma Capilla 2</i>	388	50
Villa Vista	<i>Pillahua-Witkukucho</i>	277	50
Tuco	<i>Wayllachayocc</i>	186	50
Villa Vista	<i>Witku Pillahua</i>	201	25
Pirhuamarca	<i>Qaywani Puquio</i>	161	25
Pirhuamarca	<i>Chullkumayu</i>	717	10
Pirhuamarca	<i>Yakuqochaq</i>	388	10
Villa Vista	<i>Pachqa Quispillaccta</i>	374	10
Tuco	<i>Wiska Waycco</i>	285	10
Tuco	<i>Yaku Upyana</i>	181	10
Tuco	<i>Lucerochayocc</i>	171	10
Socobamba	<i>Yutu Puquio</i>	160	10
Pirhuamarca	<i>Cruz Qasa AP</i>	28	10
Villa Vista	<i>Betayaku 3</i>	22	10
Llacctahurán	<i>Puquio Muqu</i>	658	5
Villa Vista	<i>Qinwapuquio 1</i>	534	5
Villa Vista	<i>Paqcha (Quispillaccta)</i>	462	5
Pirhuamarca	<i>Espiritu Puquio</i>	419	5
Pirhuamarca	<i>Miski Puquio</i>	365	5
Pirhuamarca	<i>Cerce Puquio</i>	365	5
Llacctahurán	<i>Pusu Huaycco</i>	248	5
Pirhuamarca	<i>Condepuquio</i>	141	5
Cuchoquesera	<i>Siniga Lliwa</i>	17	5

Si consideramos que el total de la población de la comunidad de Quispillaceta está representada por las 36 fuentes de agua, en la Tabla 4 podemos visualizar que la mitad de la población consume agua dentro de un nivel seguro recomendado por la OMS, dentro del nivel de precisión que nos puede ofrecer el kit de prueba de TDS, y la otra mitad de la población consume agua realmente contaminada con arsénico.

Los datos mostrados en la Tabla 4 pueden agruparse según sus concentraciones de arsénico en una tabla de frecuencias, según los niveles de riesgo, como se expuso en la parte teórica, para visualizar la situación de riesgo a la que está la comunidad, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Niveles de Riesgo y Rango de Concentraciones de Arsénico

Niveles de riesgo	Rango de concentración de as, ppb	Número de fuentes de agua
Nivel seguro (OMS)	< 10	18
Exposición Crónica	10 - 35	2
Riesgo Agudo	35 - 300	11
Toxicidad Aguda	300 - 500	1
Toxicidad Aguda Grave	> 500	4
Total		36

4.1.3. Resultados de la Medición Cuantitativa de la Concentración de Arsénico

En los informes de ensayo de las tres muestras de agua enviadas al laboratorio AGQ Labs, certificado por INACAL de la ciudad de Lima se leen los siguientes resultados:

Escalera Qata, Arsénico Total 0,379 mg/L $\pm 0,05$.

Witkucucho, Arsénico Total 0,046 mg/L $\pm 0,0062$.

Qallucha Qasa, Arsénico Total 0,010 mg/L $\pm 0,0014$.

(Fecha de recepción de muestras: 23/10/2024. Emisión de informe: 02/11/2024)

La muestra denominada “Escalera Qata” del centro poblado de Bella Vista, tuvo una lectura preliminar de 250 ppb de arsénico. El resultado de análisis en laboratorio certificado es de 379 ppb de arsénico total.

En el mismo centro poblado la lectura preliminar de arsénico de la fuente Witkucucho fue de 25 ppb. El resultado de análisis en laboratorio certificado es de 46 ppb de arsénico total.

El tercer resultado preciso del laboratorio acreditado de la fuente Qallucha Qasa es de solo 10 ppb de arsénico. No obstante, al parecer hubo confusión en la identificación de las muestras, de modo que este resultado no se considera para efectos comparativos.

Tabla 6

Comparación de la Concentración Real del Arsénico con la del Kit de Arsénico

Fuente de agua	Kit de arsénico, ppb	Laboratorio acreditado, ppb	Desviación, %
Escalera Qata	250	397	59
Witkucucho	25	46	84
Desviación Promedio			71

4.1.4. Ensayo de Uso de Métodos Artesanales de Reducción de Arsénico

Se sabe que las arcillas rojas por su alto contenido de hierro pueden adsorber arsénico, en la comunidad existen dos yacimientos importantes de tales arcillas, y siguiendo la tendencia en la investigación en la reducción de arsénico mediante pellets formulados con arcillas rojas, que vienen desarrollando dos docentes de la Facultad de Ingeniería Química de la UNSCH, también se ha ensayado tal método.

Para el efecto en uno de los últimos talleres desarrollados en los locales de la ABA, se ha elaborado alrededor de 4 kg de pellets, 2 kg de cada variedad, pellets de alrededor de 1,2 cm de

diámetro, formulados con cascarillas de quinua, y de cebada, en distintos porcentajes para darle la porosidad correcta a los pellets, que fueron sometidos a cocción en la Planta Piloto de Cerámica de la FIQM de la UNSCH.

Realizadas las pruebas de adsorción con las muestras de agua contaminadas con arsénico, en peras de separación de 1 L de capacidad, con un tiempo de retención de media hora, se sometió el agua tratada a las pruebas con el kit de arsénico.

El resultado sorpresivo fue que las muestras de agua tras ser analizadas, muestran ligero aumento en su concentración de arsénico. La conclusión es que las arcillas de la zona de Quispillaqta están contaminadas y no son apropiadas para su uso en la remoción artesanal del contaminante. Descartándose la opción de esta metodología.

4.2. Discusión de los Resultados

Las recomendaciones de la OMS y las directivas nacionales enfatizan el cuidado del agua potable principalmente en el cuidado de sus parámetros microbiológicos, la DIGESA vigila que los municipios mantengan estrecha vigilancia de la cloración en los sistemas de suministro de agua potable. Los municipios manejan presupuesto y personal para garantizar y monitorear que el agua potable contenga el nivel de cloro residual adecuado.

Esta política es necesaria y válida en la mayoría de distritos del Perú, en particular aquellos que ocupan territorios de mediana o baja altitud, donde las aguas superficiales y canales de riego están propensas a contaminación microbiológica principalmente fecal.

La Municipalidad Distrital de Chuschi, fiel a las directivas mantiene cloradas las aguas que se suministran a las ciudades de Chuschi y Quispillaccta. Las autoridades comunales del agua de los centros poblados andinos también deben cumplir con la disposición de clorar el agua, y la cumplen de manera parcial, esporádica, o simplemente no la cumplen.

Es en este punto donde se presenta el contraste en la realidad de la calidad del agua en los centros poblados de Quispillaccta, que al encontrarse la mayoría de sus fuentes de agua en regiones naturales suni o puna, tales fuentes es poco probable que sufran contaminación microbiológica, en particular si se recogen directamente de manantiales de agua subterránea. Por lo tanto, el descuido, la negligencia, o el darle poca importancia a la cloración del agua prácticamente no tiene mayor impacto en la salud de la población.

Ahora bien, los comuneros saben que la calidad del agua es un problema serio en Quispillaqta, a la que atribuyen las muertes de personas incluso en temprana edad.

Los resultados de la investigación revelan fehacientemente que el problema del agua en Quispillaqta radica fundamentalmente en su contaminación con arsénico, que es imposible que se resuelva mediante cloración.

4.2.1. Discusión de Resultados de las Pruebas Preliminares

Realizadas las pruebas preliminares mediante el medidor de TDS y el probador electrolítico del agua, se pudo constatar que el contenido de sólidos disueltos en las fuentes de agua de la comunidad varía ampliamente desde valores tan bajos como 5 ppm hasta tan altos como más de 1 000 ppm.

Con el probador electrolítico del agua solamente se pudo corroborar de manera visual didáctica para los comuneros, que las muestras de agua con contenido de TDS mayores a 200 ppm, presentan tras la electrólisis un aspecto con colores oscuros ciertamente desagradable.

4.2.2. Discusión de Resultados de las Pruebas Preliminares Mediante el Medidor de TDS

De las mediciones del TDS de las muestras, organizadas en la Tabla 2, bajo los criterios de aceptabilidad y sabor de la OMS, se concluye que el 37 % de la población consume agua de sabor insípido, y que el 41 % consume agua de sabor excelente.

No obstante, es percepción generalizada de parte de los comuneros, tras las pruebas sucesivas, de que las mejores aguas son aquellas con contenido menor a 100 ppm, catalogadas como insípidas por la OMS, y que las aguas con contenido mayor a 200 ppm, son desagradables o venenosas. Este hecho representa una discrepancia con las recomendaciones de la OMS sobre el TDS, que debería ser seriamente considerado en investigaciones posteriores.

Los comuneros perciben que las aguas de mejor sabor son aquellas cuya lectura de TDS se aproxima a cero. Por esta razón, una de las fuentes de agua más puras, la de Runawañusqa, cuya lectura es de 5 ppm, en su manantial de origen a alrededor de 4 500 msnm, actualmente está siendo entubada para servir de suministro al centro poblado de Unión Potrero. Generando además iniciativas comerciales y turísticas relacionadas a la idea del “agua más pura del mundo”. Vale mencionar, que existe una leyenda local que cuenta que los gobernantes inkas tenían conocimiento de la existencia de esta fuente de agua, y que mandaban a los “Chaskis” a llevarle el agua para que beban “antes de morir”. Hay que indicar por la cercanía pasa el “Qapaq Ñan”. Curiosamente en el riachuelo alimentado por tales aguas crece una flor amarilla, que a decir de las ingenieras de la ABA, solo crece en condiciones de extrema pureza ambiental.

Con respecto a esta fuente, los comuneros han tomado la decisión de conducirla al centro poblado para consumo humano mediante tuberías.

4.2.3. Discusión de Resultados de la Medición de la Concentración de Arsénico con el Kit de Arsénico

Se tenía la expectativa de que las concentraciones de arsénico serían proporcionales al contenido de TDS en las muestras de agua, pero se constató, como puede verse en la Tabla 3, que incluso aguas con lectura de TDS muy altas pueden tener concentraciones de arsénico muy bajas.

En conclusión, la suposición inicial de que un alto contenido de TDS estaría asociado con la contaminación con metales pesados y arsénico es falsa. Por lo tanto, para trabajos o propósitos futuros se puede utilizar directamente el kit de arsénico de campo.

4.2.4. Discusión de Resultados de la Medición de la Concentración de Arsénico y la población en riesgo

Según la lectura de los datos agrupados en la Tabla 5, se pudo asegurar que si consideramos que el total de la población de la comunidad de Quispillaccta está representada por las 36 fuentes de agua, podríamos afirmar que la mitad de la población consume agua dentro de un nivel seguro recomendado por la OMS, dentro del nivel de precisión que puede ofrecer el kit de arsénico, que la otra mitad de la población está expuesta al riesgo desde exposición crónica hasta toxicidad aguda grave.

En las observaciones registradas en los talleres prácticos realizados con los comuneros, refiriéndose a la fuente de agua de Antahuayqo Mollebamba en el centro poblado de Villa Vista, se lee: “Consumían, pero ya murieron. Se debe prohibir”, donde la lectura semi cuantitativa con el kit de arsénico es de 500 ppb. Lo cual es una muestra de la gravedad de la contaminación con arsénico en la comunidad de Quispillaccta.

4.2.5. Discusión de Resultados de la Medición Cuantitativa de la Concentración de Arsénico

La razón de haber enviado solo tres muestras para confirmar el grado de contaminación precisa mediante métodos espectro-métricos obedece a razones económicas, pues el análisis de todas las muestras requeriría una inversión prohibitiva para la economía de la comunidad de Quispillaqta, en comparación con el análisis colorimétrico con el kit de arsénico, que es bastante económico, aunque con algún nivel de riesgo para el operador, si no se toman las previsiones correctas.

En la Tabla 6 se observa que la lectura precisa de las concentraciones de arsénico por parte del laboratorio acreditado es mayor que la lectura semi-cuantitativa que es posible con el kit colorimétrico de arsénico, en una desviación en promedio mayor al 71 %.

Si esta desviación fuera válida para todas las muestras, entonces es evidente que el problema de la contaminación con arsénico en la comunidad de Quispillaccta es mucho más grave de lo que se conjeturaba desde el inicio del trabajo de investigación.

A continuación, algunas conclusiones estadísticas para darle rigor a los hallazgos:

4.2.5.1. Muestreo y representatividad

- Aunque solo se analizaron 36 de las 136 fuentes ($\approx 26\%$), este subconjunto funciona como una muestra. En estadística, el muestreo busca inferir características de toda la población (las 136 fuentes) a partir de un grupo más pequeño.

- El hecho de que todas las fuentes muestreadas presenten contaminación sugiere una probabilidad cercana al 100% de que la contaminación esté presente en la población completa. En términos de inferencia, la muestra respalda la conclusión general.

4.2.5.2. Rango y variabilidad

- Las concentraciones medidas con el kit oscilaron entre 5 ppb y 500 ppb, lo que muestra un rango amplio y evidencia una alta variabilidad en los niveles de contaminación.

- Esta dispersión es relevante porque indica que no todas las fuentes presentan el mismo nivel de riesgo: algunas están en niveles moderados, mientras que otras alcanzan valores extremos.

4.2.5.3. Sesgo del instrumento

- La tabla muestra que el kit subestima la concentración respecto al laboratorio acreditado. Por ejemplo:

Escalera Qata: 250 ppb (kit) vs. 397 ppb (laboratorio). Witkucucho: 25 ppb (kit) vs. 46 ppb (laboratorio).

- La desviación promedio de 71% refleja un sesgo sistemático del kit hacia valores menores. En estadística, esto se interpreta como un problema de validez del instrumento de medición.

4.2.5.4. Error relativo y precisión

- La desviación porcentual (59% y 84%) indica el error relativo entre ambos métodos. Valores tan altos muestran que el kit tiene baja precisión comparado con el estándar de laboratorio.
- Esto implica que los resultados del kit deben considerarse como estimaciones conservadoras, y que la contaminación real probablemente sea mayor.

4.2.5.5. Implicaciones para la inferencia

- Si extrapolamos los hallazgos, la media de la desviación (71%) sugiere que, en promedio, las concentraciones reales podrían ser casi el doble de lo que indica el kit.
- Desde un punto de vista estadístico, esto fortalece la conclusión de que el riesgo para la salud está subestimado y que las medidas de control deben basarse en los valores de laboratorio.

4.2.6. Medidas de Prevención y Control de la Contaminación por Arsénico en el Agua

La evaluación del nivel de la concentración de arsénico se configura como la mejor medida de prevención para evitar el consumo de aguas contaminadas. Para este efecto se ha demostrado a través del presente trabajo que, mediante el uso adecuado del kit de arsénico colorimétrico, se puede detectar e identificar las fuentes de agua contaminadas con alguna precisión, como lo demuestran los resultados obtenidos con las pruebas realizadas, y así mapear e identificar las

fuentes de agua que presenten riesgos de contaminación permanente o temporal, para evitar su consumo, inclusive como agua de riego.

La sustitución de fuentes de agua (manantiales y riachuelos) contaminados ya identificados y georreferenciados, es una medida de prevención completamente segura, puesto que en esta comunidad paralelamente existen fuentes de agua de gran pureza.

Con respecto al agua de lluvia la comunidad ya tiene mucha práctica en el almacenamiento de tales aguas en sus “qochas” alto andinas desde tiempos ancestrales, y es su práctica actual, falta socializar y difundir metodologías de recolección de agua de lluvia a nivel de núcleos familiares, en recipientes grandes no contaminables para su uso en las temporadas críticas de estío o sequía. Este tema queda pendiente de discusión, estudio y sistematización.

En el caso de no disponerse de la posibilidad de sustitución de la fuente de agua (en todo caso no tan contaminada) se podría recurrir a los filtros domiciliarios y comunitarios, no obstante, la tecnología de nano filtros es económicamente inaccesible para la comunidad. Aunque si es posible recurrir a filtros de arena o hierro.

Ante el panorama que se acaba de describir las autoridades de la comunidad de Quispillaccta han tomado decisiones completamente prácticas:

- Evitar el uso de la fuente de agua contaminada, desviando el flujo o el cauce hacia los riachuelos, y reemplazándola por otra fuente de agua mediante el uso de tuberías de PVM.
- Ubicar las fuentes de agua más puras, para reemplazar a las fuentes de suministro de agua potable de los centros poblados. Este es el caso que ya se refirió con respecto al agua al parecer muy pura del manantial altoandino de “Runawañusqa” que está siendo conducida al centro poblado de Unión Potrero, reemplazando a todas las fuentes de agua que se venían utilizando.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación el objetivo fue determinar la concentración de arsénico en los manantiales que suministran agua para consumo humano a los centros poblados de la comunidad de Quispillaqta. Tras un trabajo de socialización de antecedentes, premisas, ideas previas, pruebas y observaciones preliminares, recolección de datos, pruebas preliminares de campo y de gabinete, unas pruebas en laboratorio certificado, y finalmente unos experimentos de carácter manual, quemado de muestras en un horno de cerámica, y unas últimas pruebas en gabinete, se puede afirmar con satisfacción que se lograron los objetivos formulados originalmente.

5.1. Concentración de Arsénico en las Fuentes de Agua

Si bien por razones prácticas, de cercanía de los centros poblados a las fuentes de agua, el análisis con el kit de arsénico se aplicó únicamente a 36 de las 136 fuentes de agua identificadas —la mayoría de ellas georreferenciadas—, en relación con el objetivo general de determinar la concentración de arsénico en los manantiales que abastecen de agua para consumo humano a los centros poblados de la comunidad de Quispillaqta, se puede afirmar que dicho propósito fue alcanzado.

Los resultados evidencian que todas las fuentes muestreadas presentan contaminación por arsénico. Además, las pruebas realizadas en un laboratorio acreditado sugieren que la magnitud de la contaminación podría ser aún más grave que la detectada mediante el kit utilizado. Las concentraciones registradas, dentro de los márgenes de precisión del método aplicado, oscilan entre 5 ppb y 500 ppb. Este último valor representa un nivel extremadamente peligroso para la

salud humana, lo que subraya la urgencia de implementar medidas de control y mitigación en la comunidad.

5.2. Fuentes de Agua Aptas y No Aptas para Consumo Humano

De acuerdo con el criterio establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que fija en 10 ppb el límite máximo permisible de arsénico para el consumo humano, y considerando las limitaciones de precisión del kit empleado, se constató que, de las 36 muestras analizadas, 18 presentaron concentraciones iguales o inferiores a dicho umbral.

En consecuencia, se determinó que 18 de las fuentes de agua estudiadas son aptas para el consumo humano, mientras que las otras 18 no cumplen con los estándares de seguridad. Cabe destacar que cuatro de estas fuentes mostraron niveles alarmantes de contaminación, con valores superiores a 400 y 500 ppb de arsénico, lo que representa un riesgo crítico para la salud.

En síntesis, se logró identificar las fuentes de agua aptas y no aptas para el consumo humano en la comunidad de Quispillaqta. Sin embargo, es importante subrayar que la contaminación podría ser más severa de lo que refleja el kit de arsénico, lo que hace indispensable la realización de análisis más exhaustivos y la implementación de medidas urgentes de mitigación.

5.3. Medidas para Reducir la Concentración de Arsénico en las Fuentes de Agua

Una vez identificadas las fuentes de agua no aptas para el consumo humano, en particular las cuatro que presentaron niveles alarmantemente elevados de arsénico, la comunidad adoptó como medida inmediata el reemplazo de dichas fuentes por otras de mayor pureza. Esta acción implicó la puesta en práctica de medidas de saneamiento comunitario orientadas a garantizar un suministro más seguro de agua.

Por otro lado, el ensayo destinado a evaluar un método artesanal de purificación resultó infructuoso: las arcillas rojas disponibles en la comunidad campesina de Quispillaqta demostraron no ser eficaces para la remoción del arsénico presente en el agua.

En síntesis, aunque se implementaron medidas de sustitución de fuentes contaminadas, la búsqueda de soluciones locales y sostenibles para la purificación del agua continúa siendo un desafío pendiente, lo que resalta la necesidad de explorar alternativas tecnológicas más efectivas y adaptadas al contexto comunitario.

RECOMENDACIONES

- Uso de métodos más sensibles de detección

Dado que todas las muestras analizadas presentaron algún grado de contaminación por arsénico, se recomienda que en futuros estudios de despistaje en comunidades campesinas del Perú se empleen directamente kits de arsénico de alta sensibilidad. Asimismo, es aconsejable realizar las mediciones en diferentes épocas (sequía y lluvias) para verificar posibles variaciones en las concentraciones.

- Gestión práctica de las fuentes de agua

Se recomienda que las fuentes con concentraciones iguales o menores a 10 ppb sean utilizadas, en la medida de lo posible, para el suministro de agua destinada al consumo humano en la comunidad de Quispillaqta. Por el contrario, aquellas que superen este límite deben ser reemplazadas progresivamente. Cabe señalar que las fuentes con niveles alarmantemente altos de arsénico ya han sido descartadas o desviadas por los propios comuneros.

- Socialización de los hallazgos y articulación institucional

Debido a la trascendencia de esta investigación para la región altoandina del Perú, se recomienda a las autoridades de la comunidad de Quispillaqta, a los representantes de la ABA, así como al alcalde y a la Municipalidad Distrital de Chuschi, difundir estos resultados ante las instancias regionales y nacionales pertinentes —como el Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente— con el fin de iniciar acciones concretas para enfrentar esta problemática.

- Profundización académica en parámetros de calidad del agua

Durante la investigación se observaron contradicciones entre las recomendaciones de organismos internacionales, como la OMS, respecto a ciertos parámetros de pureza del agua, particularmente en relación con el rango de TDS. Por ello, se recomienda a académicos y

autoridades interesadas en la calidad del agua profundizar en estos aspectos, considerando que el acceso a agua segura constituye un tema de vital importancia para toda la humanidad.



Foto 1. En la plaza de Quispillaqta, después del Curso Taller Detección de Arsénico en el Agua Potable.

Resultado: 4 fuentes de agua contaminadas con arsénico, incluida la que provee a la ciudad misma.

01 de febrero de 2024.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aconsa. (s.f.). Metales pesados en el agua potable. <https://aconsa-lab.com/metales-pesados-en-el-agua-potable/>
2. Acta Toxicológica Argentina. (2016). Estudio epidemiológico de arsénico en agua subterránea para consumo humano en el territorio del Cluster Lechero Regional, Argentina. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-837858>
3. Acta Toxicológica Argentina. (2016). Impacto del arsénico en acuíferos destinados al consumo humano: Estudio en Santa Fe y Santiago del Estero. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432016000200003
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). *Toxicological Profile for Arsenic*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
5. Agua Planet. (s.f.). ¿Qué son los sólidos disueltos totales (TDS)? <https://aguaplanet.cl/que-son-los-solidos-disueltos-totales-tds/>
6. Alcora. (s.f.). Agua potable y agua tratada: qué son, características y diferencias. <https://alcora.es/blog/agua-potable-y-agua-tratada-que-son-caracteristicas-y-diferencias/>
7. Álvarez, C. A., Vergara-Murillo, F. M., Acevedo-Barrios, R. L., & Severiche-Sierra, C. A. (2014). Evaluación analítica para la determinación de arsénico y selenio en aguas por espectroscopía de absorción atómica. *Revista Boliviana de Química*, 31(1), 3-12. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602014000100003
8. Álvarez Díaz, D. Y., Narváez Barreto, A. F., & Figueroa Casas, L. S. (2015). Metales pesados en fuentes de agua: generalidades y métodos de remoción. *Energía, Ciencia y Tecnología*, 14(27), 9-18. <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>

9. Bardach, A., et al. (2016). Arsenic in drinking water in Argentina: A silent threat to public health. *Science of the Total Environment*.
10. Betancourt Rodríguez, A. (2024). *Tecnologías para tratamiento de arsénico en agua* [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito].
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/3269/20240604%20Tesis%20ANGELA%20BETANCOURT%20As-ANGELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. Business & Human Rights Resource Centre. (2009). Catalina Huanca contamina ríos y quebradas de Ayacucho [Perú]. <https://www.business-humanrights.org/es/latest-news/catalina-huanca-contamina-r%C3%ADos-y-quebradas-de-ayacucho-per%C3%BA/>
12. Calero Huaman, B. S. (s.f.). [Título de tesis no disponible]. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7797/Tesis%20-%20CALERO%20HUAMAN%20BRITANY%20SOREL.pdf>
13. Carbotecnia. (s.f.). Los metales pesados en el agua.
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/los-metales-pesados-en-el-agua/>
14. Carbotecnia. (s.f.). *Remover arsénico del agua potable*.
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/remover-arsenico-del-agua-potable/>
15. Comisión de Investigación Científica del Estado de México (CICEM). (2013). *Arsénico en el agua*.
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>

16. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). (2021). Arsénico en agua: Un enemigo invisible. <https://www.conicet.gov.ar/arsenico-en-agua-un-enemigo-invisible/>
17. Cooperación Suiza - COSUDE. (2023). Agua: Gestión sostenible para comunidades vulnerables. https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2023/07/PUBLICACION_AGUA-EMP-final.pdf
18. D'Ambrosio, M. C. (2005). Evaluación y selección de tecnologías disponibles para remoción de arsénico. II° Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea y IV° Congreso Hidrogeológico Argentino. https://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/30-tecnologias_remocion_arsenico.pdf
19. Defiende La Sierra. (2021). Arsénico en México: Un enemigo invisible. <https://defiendelasierra.org/wp-content/uploads/2021/11/Arsenico-en-Mexico.pdf>
20. Dropson. (s.f.). *Medidor TDS: ¿Qué es y qué mide realmente?* <https://www.dropson.es/blog-lata-filtrante/medidor-tds-que-es-y-que-mide-realmente/>
21. Emergency WASH. (s.f.). Tecnologías para la eliminación de arsénico. <https://www.emergency-wash.org/water/es/tecnologias/technology/arsenic-removal-technologies>
22. Equipo editorial, Etecé. (2023, 30 de agosto). Agua potable: Qué es, características, cómo se obtiene y para qué sirve. Concepto. <https://concepto.de/agua-potable/>
23. Facsa. (s.f.). Metales pesados en el agua: qué son, riesgos y cómo eliminarlos. <https://www.facsa.com/metales-pesados/>

24. Fluence Corporation. (s.f.). Remoción de Arsénico del Agua.
<https://www.fluencecorp.com/es/remocion-de-arsenico-del-agua/>
25. Frisbie, S. H., et al. (2024). Sea level rise from climate change is expected to increase the release of arsenic into Bangladesh's drinking well water by reduction and by the salt effect. *PLOS ONE*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov> (PubMed Central)
26. Fundación Aquae. (s.f.). Características del agua potable y cómo se obtiene.
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/caracteristicas-agua-potable/>
27. Galindo, R. M., et al. (2005). El arsénico en el medio ambiente. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. https://digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo_et_al-Arsenico-2005.pdf
28. GEH Wasserchemie. (s.f.). Eliminación del arsénico en el tratamiento de aguas.
<https://www.geh-wasserchemie.com/es/eliminacion-del-arsenico-en-el-tratamiento-de-aguas/>
29. Gómez, J., & Rodríguez, A. (2022). Evaluación del impacto ambiental por arsénico en fuentes hídricas. *Revista Ingeniería e Investigación*, 42(2), 178-185.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532022000200178
30. Hach. (s.f.). *Sólidos totales y disueltos (TSS y TDS)*. <https://es.hach.com/parameters/solids>
31. Hanna Colombia. (s.f.). *¿Cómo funciona el TDS del agua y qué significa?*
<https://www.hannacolombia.com/blog/post/734/como-funciona-el-tds-del-agua-y-que-significa>
32. Huillca Lima, M., Apaza Mamani, L., & Vigo Rivera, J. E. (2019). Evaluación de la concentración de arsénico en aguas subterráneas para consumo humano en la Asociación Nueva Jerusalén, Juliaca - Puno. Universidad Peruana Unión.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6ca16a6c-f699-461b-9b1f-1ff2c66e0c63/content>

33. INSST. (s.f.). *Determinación de arsénico, de sus compuestos en forma particulada y en aire*. https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_035_A96.pdf/3c16566c-b8b4-4fd1-853c-86f4ae471e8e
34. Laborxing. (s.f.). *Aparato de determinación de arsénico según Gutzeit*. <https://es.laborxing.com/productos/aparato-de-determinaci%C3%B3n-de-ars%C3%A9nico-seg%C3%BAn-gutzeit>
35. Lavie Bio. (s.f.). ¿Hay metales pesados en el agua del grifo?. <https://lavie.bio/es/metales-pesados-agua-del-grifo/>
36. Lenntech. (s.f.). *Arsénico (As) Propiedades químicas y efectos sobre la salud*. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>
37. López, R. Q., & Vargas, E. S. (2007). Contaminación por arsénico en la cuenca Poopó. *Revista Boliviana de Química*, 6(18), 802-814.
<http://www.scielo.org.bo/pdf/vrs/v6n18/a8-802-814.pdf>
38. Mamani Navarro, K. (2023). Evaluación de la calidad del agua potable y su relación con enfermedades asociadas a metales pesados. Universidad José Carlos Mariátegui.
https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/2141/Karina_tesis_titulo_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
39. Maratta Martínez, S. A. (s.f.). *Propiedades físicas y químicas del arsénico*. Universidad Nacional de San Luis.
http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/11336/81191/5/CONICET_Digital_Nro.e1c33b29-f641-4712-b55f-9e7003f30237_B.pdf

40. Mendoza Fuentes, M. A. (2018). *Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://hdl.handle.net/20.500.12390/1526>
41. Ministerio de Salud Colombia. (s.f.). Agua para consumo humano.
<https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ambiental/Paginas/agua-para-consumo-humano.aspx>
42. Ministerio del Ambiente (MINAM). (s.f.). Declaración de impacto ambiental.
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-huancavelica/archivos/public/docs/declaracion_de_impacto_ambiental.pdf
43. Montes-Cartas, G., Olmos-Márquez, E., & Báez, A. (2021). Evaluación del riesgo por metales pesados en agua y suelo de uso agrícola en la región de Zimapán, Hidalgo, México. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 72(1), 1-16.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/herreriana/article/download/8630/9166>
44. Moreno, S. (2024). Poisoned by arsenic, and with no way out, Peruvians live in fear. *International Business Times*. <https://www.ibtimes.com/poisoned-arsenic-no-way-out-peruvians-live-fear-3737075>
45. Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Meta 6.1*.
<https://www.un.org/es/sustainabledevelopment/water-and-sanitation>
46. Orbea, G., et al. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *BMC Public Health*, 14(1), 1-9.
47. Organización Mundial de la Salud. (2022). *Guías para la calidad del agua potable*.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>

48. Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Calidad del agua potable*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
49. Organización Mundial de la Salud. (2022, 11 de noviembre). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
50. Organización Mundial de la Salud. (2022, 11 de noviembre). *Arsénico en el agua potable*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
51. Ortiz Cruz, V. (s.f.). *Comparación de dos métodos para la determinación de arsénico en aguas*.
<http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/2159/1/ortizcruzvanessal.pdf>
52. Plantas de Osmosis. (s.f.). Contaminación del agua por metales pesados: problemas y efectos en la salud humana.
<https://www.plantasdeosmosis.com/actualidad/noticias/140/contaminacion-del-agua-por-metales-pesados-problemas-y-efectos-en-la-salud-humana.html>
53. Podgorski, J. E., & Berg, M. (2023). Global risk map of arsenic contamination in groundwater. *Science*.
54. Pontificia Universidad Católica del Perú. (2018). Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú.
<https://tesis.pucp.edu.pe/items/53f2c853-275b-4752-a482-ec9474216cbf>
55. Producción-animal. (s.f.). *Determinación de arsénico en aguas: Diferentes métodos*.
https://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/177-Determinacion_arsenico.pdf
56. Pure Aqua Inc. (s.f.). *Reducción TDS (Sólidos Totales Disueltos)*.
<https://es.pureaqua.com/reduccion-tds-solidos-totales-disueltos/>

57. Química.es. (s.f.). *Arsénico*. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Arsenico.html>
58. Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano. Mary Luz Chávez Quijada y María Miglio Toledo (2011).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000400008
59. Revista Ciencia y Desarrollo. (s.f.). Evaluación de la calidad del agua superficial en el distrito de Sacsamarca, Ayacucho.
<https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/download/496/490/940>
60. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. (2018). Evaluación hidroquímica y riesgos sanitarios asociados a metales pesados.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342018000400014&script=sci_arttext
61. Salazar, R. V., Arredondo, V. M., & Quispe, A. C. (2021). Niveles de arsénico en aguas de consumo humano y su relación con factores socioeconómicos en Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 67-74.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2021000100026&script=sci_arttext
62. Salazar, R. V., Arredondo, V. M., & Quispe, A. C. (2020). Calidad del agua y factores asociados al contenido de arsénico en agua para consumo humano en la región Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 260-270.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2020000300260&script=sci_arttext
63. Sociedad Española de Salud Pública y Administración Sanitaria. (2021). Impacto del arsénico en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 75(5), 1-10.
<https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v75n5/a01v75n5.pdf>

64. TecnosolucionesCR. (2020, 14 de julio). Características físicas, químicas y biológicas en el agua potable que deben controlarse. <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisicos-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>
65. Universidad Nacional Autónoma de Juliaca. (2019). Contaminación de las aguas subterráneas por arsénico (As): El caso del distrito de Juliaca – Perú. *Revista Virtual de Investigación y Producción Intelectual*, 1(1).
<https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/64>
66. Universidad Nacional Autónoma de Tarapoto. (s.f.). Evaluación hidroquímica y remoción de arsénico en aguas superficiales. *Revista Taya*, 12(2), 216–224.
<https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/224/216>
67. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. (2020). Evaluación de la remoción de arsénico del agua con adsorbentes naturales no metálicos en un reactor de lecho fijo a escala semipiloto Ayacucho 2019. *Revista Investigación*, 28(1), 241–248.
<https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.1.2020.377>
68. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. (2022). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano en los Sistemas de Abastecimiento en Comunidades del Distrito de Tambo, La Mar-Ayacucho.
<https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/rmb/article/download/461/454/868>
69. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. (2020). Evaluación de la remoción de arsénico del agua con adsorbentes naturales no metálicos en un reactor de lecho fijo a escala semipiloto Ayacucho 2019. *Revista Investigación*, 28(1), 241–248.
<https://revistas.unsch.edu.pe/index.php/investigacion/article/view/377>

70. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. (2023). Evaluación hidroquímica y riesgos sanitarios asociados a metales pesados en fuentes hídricas.
<https://repositorio.unheval.edu.pe/item/855a9d7d-8768-4fd0-acd1-6447f3c95318>
71. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. (s.f.). Evaluación hidroquímica y riesgos sanitarios asociados a metales pesados.
<https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f3541e07-f5a0-453c-a301-17db106e7355/content>
72. Universidad Peruana Santiago Antúnez de Mayolo. (s.f.). Evaluación hidroquímica y riesgos sanitarios asociados a metales pesados.
<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./210>
73. Universidad San Ignacio de Loyola. (s.f.). Impacto del arsénico en comunidades rurales. *Revista Salud y Humanidades*, 3(2), 115-215.
<https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/download/115/215>
74. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. (s.f.). Ingeniería Sanitaria A4: Capítulo 03 Características del Agua Potable.
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf
75. Villaamil Lepori, E. C. (2015). Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 49(1), 83-104.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602014000100003
76. Villalba-Atondo, A. I., et al. (2017). Metales pesados en agua para uso y consumo humano en pozos del valle de Mexicali, Baja California, México. *Salud Pública de*

México, 59(1), 34-42. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342017000100034&script=sci_arttext

77. Wikipedia. (2025, 4 de abril). Agua potable. https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable

78. Wikipedia. (2025). *Arsénico*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Ars%C3%A9nico>

79. Wikipedia. (2023). *Total de sólidos disueltos*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Total_de_s%C3%B3lidos_disueltos

80. Zimapan-Remocion-De-Hierro-Y-Arsenico-De-Agua-Para-Consumo-Humano. (s.f.).

<http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Zimapan-Remocion-De-Hierro-Y-Arsenico-De-Agua-Para-Consumo-Humano.pdf>

ANEXOS

INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO ACREDITADO



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: A-24/161936	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): Asociación Bartolomé Aripaylla
Análisis: A-PR-0034 (Metales Pesados)	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio (*): JR. LOS PINOS MZA. V LOTE. 3 C.C. QUICAPATA (PLANTA T. AGUA POT) AYACUCHO - HUAMANGA - AYAC
Tipo Muestra: AGUA POTABLE	Fecha Recepción: 23/10/2024	Contrato: QMT-PE241000267
Fecha Inicio: 28/10/2024	Fecha Fin: 02/11/2024	Cliente 3º(*)----
Descripción(*): ESCALERA QATA		
Fecha/Hora: 21/10/2024 15:30	Muestreado por: *Cliente (*)	
Muestreo: ESCALERA QATA		Coordenadas x,y: 549410 8488689
Lugar de Muestreo: ESCALERA QATA		
Punto de Muestreo: ESCALERA QATA		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Legislación DS N°031-2010-SA (2023) SOBRE LA QUE INFORMAMOS DE LOS INCUMPLIMIENTOS DE LOS CMA INDICADOS A CONTINUACIÓN:

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra tal como es recibida en el laboratorio y sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (*) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.

Carmen Elizabeth Quispe
Rojas
CIP-238104

FECHA EMISIÓN: 04/11/2024

OBSERVACIONES (*):



Código de verificación

Nº de Referencia: A-24/161936
Descripción(*): ESCALERA QATA

Tipo Muestra: AGUA POTABLE
Fecha Fin: 02/11/2024

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA
Metales Totales				
Arsénico Total	0,379	mg/L	±0,05	
Cadmio Total	< 0,0002	mg/L	-	
Mercurio Total	< 0,000085	mg/L	-	
Plomo Total	< 0,0005	mg/L	-	

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Los resultados emitidos, no han sido corregidos con valores de recuperación. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(*) Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-502 emitida por IAS.

Nº de Referencia: A-24/161936
Descripción(*): ESCALERA QATA

Tipo Muestra: AGUA POTABLE
Fecha Fin: 02/11/2024

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (#)
Metales Totales				
Arsénico Total	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS		0,001 mg/L
Cadmio Total	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS		0,0002 mg/L
Mercurio Total	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS		0,000085 mg/L
Plomo Total	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS		0,0005 mg/L

(#) El Lim Cuantif es el valor a partir del cual cuantificamos. El Lim Detec es el valor a partir del cual detectamos (aplica a ensayos cualitativos). Para los parámetros de Radioactividad es el AMO



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: A-24/161936
Descripción(*): ESCALERA QATA

Tipo Muestra: AGUA POTABLE
Fecha Fin: 02/11/2024

Los resultados de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

(*) El Lim Cuantitativo es el valor a partir del cual cuantificamos. El Lim Detectable es el valor a partir del cual detectamos (aplica a ensayos cualitativos). Para los parámetros de Radioactividad es el AMO



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: A-24/161938	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (^): Asociación Bartolomé Aripaylla
Análisis: A-PR-0034 (Metales Pesados)	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio JR. LOS PINOS MZA. V LOTE. 3 C.C
		(^): QUICAPATA (PLANTA T. AGUA POT)
		AYACUCHO - HUAMANGA - AYAC
		AYACUCHO
Tipo Muestra: AGUA POTABLE	Fecha Recepción: 23/10/2024	Contrato: QMT-PE241000267
Fecha Inicio: 28/10/2024	Fecha Fin: 02/11/2024	Cliente 3^(^):----
Descripción(^): QALLUCHA QASA		
Fecha/Hora: 21/10/2024 13:00	Muestreado por: *Cliente (^)	
Muestreo:		
Lugar de Muestreo: QALLUCHA QASA		Coordenadas x,y: 562804 8510817
Punto de Muestreo: QALLUCHA QASA		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Legislación DS N°031-2010-SA (2023) SOBRE LA QUE INFORMAMOS DE LOS INCUMPLIMIENTOS DE LOS CMA INDICADOS A CONTINUACIÓN:

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra tal como es recibida en el laboratorio y sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (^) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.

Carmen Elizabeth Quispe
Rojas
CIP-238104

FECHA EMISIÓN: 02/11/2024

OBSERVACIONES (*):



Código de verificación

Nº de Referencia: A-24/161938
Descripción(*): QALLUCHA QASA

Tipo Muestra: AGUA POTABLE
Fecha Fin: 02/11/2024

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA
Metales Totales				
Arsénico Total	0,010	mg/L	±0,0014	
Cadmio Total	< 0,0002	mg/L	-	
Mercurio Total	< 0,000085	mg/L	-	
Plomo Total	< 0,0005	mg/L	-	

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Los resultados emitidos, no han sido corregidos con valores de recuperación. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(*) Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-502 emitida por IAS.



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: A-24/161937	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (^): Asociación Bartolomé Aripaylla
Análisis: A-PR-0034 (Metales Pesados)	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio JR. LOS PINOS MZA. V LOTE. 3 C.C
		(^): QUICAPATA (PLANTA T. AGUA POT)
		AYACUCHO - HUAMANGA - AYAC
		AYACUCHO
Tipo Muestra: AGUA POTABLE	Fecha Recepción: 23/10/2024	Contrato: QMT-PE241000267
Fecha Inicio: 28/10/2024	Fecha Fin: 02/11/2024	Cliente 3^(^):----
Descripción(^): WITKUCUCHO		
Fecha/Hora: 21/10/2024 15:15	Muestreado por: *Cliente (^)	
Muestreo:		
Lugar de Muestreo: ESCALERA QATA		Coordenadas x,y: 568918 8499909
Punto de Muestreo: WITKUCUCHO		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Legislación DS N°031-2010-SA (2023) SOBRE LA QUE INFORMAMOS DE LOS INCUMPLIMIENTOS DE LOS CMA INDICADOS A CONTINUACIÓN:

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra tal como es recibida en el laboratorio y sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (^) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.

Carmen Elizabeth Quispe
Rojas
CIP-238104

FECHA EMISIÓN: 02/11/2024

OBSERVACIONES (*):



Código de verificación

Nº de Referencia: A-24/161937
Descripción(*): WITKUCUCHO

Tipo Muestra: AGUA POTABLE
Fecha Fin: 02/11/2024

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA
Metales Totales				
Arsénico Total	0,046	mg/L	±0,0062	
Cadmio Total	< 0,0002	mg/L	-	
Mercurio Total	< 0,000085	mg/L	-	
Plomo Total	< 0,0005	mg/L	-	

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Los resultados emitidos, no han sido corregidos con valores de recuperación. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(*) Ensayo No cubierto por la Acreditación n° TL-502 emitida por IAS.

**CENTROS POBLADOS, FUENTES DE AGUA, LECTURAS DE TDS Y ARSÉNICO,
GEOREFERENCIACIÓN Y ALTITUD. (DATOS RECOGIDOS ENTRE LOS MESES
DE ABRIL A NOVIEMBRE DE LOS AÑOS 2023 Y 2024)**

										Fuente		si es de			
										1		Consumo humano			
										2		Río u otra no consumo			
unidad										6		6			
NL	IDLO	Localidad	FUENTES AGUA TDS	As	OBSERVACIONE Potable				ctaF	18L	UTM	Altura			
1	1.1	Villa Vista	Witku 1 (potab	203					1	1					
1	1.1	Villa Vista	Pillahua-witku	277	50	ppb				2					
1	1.1	Villa Vista	Puka huasi	160						2	567240	8502044	3781		
1	1.1	Villa Vista	Puka huasi Bu	19						2	566981	8502452	3905		
1	1.1	Villa Vista	Puka huasi Tit	293						2	567049	8502121	3880		
1	1.1	Villa Vista	Puka huasicuc	195						2					
1	1.1	Villa Vista	Puka koral	180						2	567001	8502775	3892		
1	1.1	Villa Vista	Qinwapuquio	534	5	ppb				2	568193	8500308	3511		
1	1.1	Villa Vista	Qinwapuquio	160						2	568104	8500630	3538		
1	1.1	Villa Vista	Rio	365						2					
1	1.1	Villa Vista	Pachqapampa	18						2	565744	8505776	4261		
1	1.1	Villa Vista	Ruqruga	1007	50	ppb				2					
1	1.1	Villa Vista	Qinwapuquio	187						2	568102	8500412	3530		
1	1.1	Villa Vista	Witku 2	138						2					
1	1.1	Villa Vista	Witku escalera	187	250	ppb	Agua potable		1	1					
1	1.1	Villa Vista	Witku pillahua	201	25	ppb	Canal			2					
1	1.1	Villa Vista	Witkukucho	147						2	568854	8499853	3352		
1	1.1	Villa Vista	Amacheta	642	250	pp	Trazas de plomo			2	569612	8499049	3225		
1	1.1	Villa Vista	Itana huaycco	437	500	ppb	Milquiades. Trazas de plomo			2					
1	1.1	Villa Vista	Itana huaycco	651	500	ppb	puquio, consumen ubicado e			2					
1	1.1	Villa Vista	Paqcha (Quisp	462	5	ppb	Trazas de plomo			2	569592	8498423	3215		
1	1.1	Villa Vista	Amacheta	499	250	ppb	puquio, consumen			2					
1	1.1	Villa Vista	Rio pampas	362						2					
1	1.1	Villa Vista	Betayaku 3	22	10	ppb				2	567502	8504189	4088		
1	1.1	Villa Vista	Antahuayqo M	700	500	ppb	consumian, pero ya murieron			2					
1	1.1	Villa Vista	Antahuayqo	525			Consumo y rie	1		2					
1	1.1	Villa Vista	Antahuayqo 2	525						2					
1	1.1	Villa Vista	Betayaku 1	22						2	567556	8504497	4194		
1	1.1	Villa Vista	Reservorio	187						2					
1	1.1	Villa Vista	Betayaku 2	22						2	567564	8564390	4188		
1	1.1	Villa Vista	Pachqapampa	17						2	565902	8505702	4228		
1	1.1	Villa Vista	Cachihuaycco	656						2					
1	1.1	Villa Vista	Chilla pampa	525	250	ppb	es el río que colinda con Chu			2					
1	1.1	Villa Vista	Chullkumayu p	610						2					
1	1.1	Villa Vista	Escalera pata	218			es lo mismo, consumo. Agua			1					
1	1.1	Villa Vista	Matuma	148						2	567135	8501565	3819		
1	1.1	Villa Vista	Escalera qata	174			es lo mismo, consumo			1					
1	1.1	Villa Vista	Pachqa pata q	15						2	566271	850557	4290		
1	1.1	Villa Vista	Matuma capill	170						2	567048	8501822	3835		
1	1.1	Villa Vista	Iloqaruqata	293						2					
1	1.1	Villa Vista	Itana huaycco	266						2					
1	1.1	Villa Vista	Itana huaycco	187	250	ppb	puquio, consumen			2					
1	1.1	Villa Vista	Pachqa Quisp	374	10	ppb	puquio, Consumen cuando ne			2	569591	8498425	3194		
1	1.1	Villa Vista	Escalera waqt	177			Agua potable abastece a ma			1					
1	1.1	Villa Vista	Matuma capill	388	50	ppb	Los que viven por allí consum			2	566970	8501991	3884		
1	1.1	Villa Vista	Quchqa puquio							2	569394	8498241	3299		
1	1.1	Villa Vista	Totora Iliwa							2	569411	8498765	3239		
1	1.1	Villa Vista	Qiwilla pata gocha				Quispillaccta/ Yuraq Cruz			2	565373	8505410	4302		
1	1.1	Villa Vista	Qiwilla pata gocha 2				Quispillaccta/ Yuraq Cruz			2	565622	8505846	4293		
1	1.1	Villa Vista	Escalera 2							1	569426	8499684	3350		
1	1.1	Villa Vista	Escalera 1							1	569410	8488689	3351		
2	1.2	Illa ccampa	Bocatoma Illa	32			Separo Illa ccampa porque t			1	566950	8503778	3969		
2	1.2	Illa ccampa	Costado de Bocatoma							1	566950	8503692	3956		

3	1.3	Yuracc cruz	Bañadero	44					1	566885	8503530	3956
3	1.3	Yuracc cruz	Qonchalla kuq	16					1	567295	8504674	4158
3	1.3	Yuracc cruz	Todo cofradia Bañadero						2	567006	8503354	3920
3	1.3	Yuracc cruz	Acco						2	567061	8502565	3894
3	1.3	Yuracc cruz	Rio Puka Corral						2	567816	8502502	3768
3	1.3	Yuracc cruz	Yana yaku Felipe Galindo						2	565570	8504758	4072
3	1.3	Yuracc cruz	Captación yana yaku						2	565522	8504188	4015
3	1.3	Yurac Cruz	Paqcha						1	566252	8504975	4210
3	1.3	Yurac Cruz	Altarcha qata						1	566407	8503717	4126
4	1.4	Llacctahurán	Wayllapucru	120			cofradia, toma el ganadero		2			
4	1.4	Llacctahurán	Asnaq puquio	149					1			
4	1.4	Llacctahurán	Sacsara	149			Agua potable sacani. Agua p		1	563961	8501240	3985
4	1.4	Llacctahurán	Tuqtutuqu 1	264			Agua potable para centro son		1	564853	8500871	3600
4	1.4	Llacctahurán	tuqtutuqu	248			Agua potable Llacctahuran		1	564841	8500851	3610
4	1.4	Llacctahurán	Totora huaycco	650					2	565241	8500285	3556
4	1.4	Llacctahurán	Sillaqasa	141			Agua potable nuevo		1	566735	8500633	3826
4	1.4	Llacctahurán	Riachuelo	387					2	565047	8501295	3662
4	1.4	Llacctahurán	Qalluchayucc	149					2	564295	8502102	4057
4	1.4	Llacctahurán	Putaqahuaaycco	248			Agua potable para centro, Lla		1	564175	8501263	3696
4	1.4	Llacctahurán	pusu huaycco	248	5 ppb		Es agua potable o Bañadero,		2			
4	1.4	Llacctahurán	Puquio muqu	658	5 ppb				2	565332	8500101	3525
4	1.4	Llacctahurán	Kankahua puq	149					2	567191	8499636	3852
4	1.4	Llacctahurán	Kankahua puquio 2						2	567202	8499522	3857
4	1.4	Llacctahurán	Yanaqaqacuch	44			Consumen los que viven en y		2	564919	8505508	4354
4	1.4	Llacctahurán	Kuchu puquio	118			Antes tomabamos, como ente		2	564031	8505060	3214
4	1.4	Llacctahurán	Paqpa qichqa						2	566027	8500101	3694
4	1.4	Llacctahuran	Puka puka						2	565830	8499441	3534
4	1.4	Llacctahuran	Qallucha yupallana						2	564729	8503143	4073
4	1.4	Llacctahuran	Qilluy huaycco puquio						2	564563	8504224	4096
4	1.4	Llacctahuran	Qilluy huaycco puquio 2						2	564529	8504240	4698
4	1.4	Llacctahuran	qilluy pampa						2	564151	8504679	4164
4	1.4	Llacctahuran	Cucho puquio						2	564047	850475	4192
4	1.4	Llacctahuran	Luwichu cancha						2	564045	8505832	4308
4	1.4	Llacctahurán	Raqrápata						2	565162	8505347	4327
4	1.4	Llacctahurán	Mansuqasa qocha				Llacctahuran/Huertahuasi		2	563474	8505888	4363
4	1.4	Llacctahuran	Yanaqaqa cucho 2						2	564957	8505426	4301
4	1.4	Llacctahurán	Bañadero						1	563956	8502915	4130
5	1.5	Pirhuamarca	Chullkumayu	717	10 ppb				2			
5	1.5	Pirhuamarca	Wasa puquio	623	400 ppb		Trazas de plomo		2	564394	8498832	3755
5	1.5	Pirhuamarca	puchquyaku	838			única fuente que turnan para		2			
5	1.5	Pirhuamarca	Pallqa puente	120					2	564993	8503852	4017
5	1.5	Pirhuamarca	Pachqapampa	43			Incluye a yanayaku		1	565620	8504312	4056
5	1.5	Pirhuamarca	Huamantina	163					2	563086	8500507	4366
5	1.5	Pirhuamarca	Hatunlliwá	499					2	563512	8499541	4143
5	1.5	Pirhuamarca	Yakuqochaq	388	10 ppb		antes entubo Modesto cuando		2	562958	8499650	4221
5	1.5	Pirhuamarca	Yakuqochaq2						1	563035	8499659	4041
5	1.5	Pirhuamarca	yanayaku	35			Agua potable.Principal fuente		1	565522	8504190	4006
5	1.5	Pirhuamarca	Cuncuma Puqu	164			Puquio, comumen		2	563187	8500505	4364
5	1.5	Pirhuamarca	Cruz qasa qoch	19			Manatíal de consumo para lo		1	563340	8005690	4322
5	1.5	Pirhuamarca	cruz qasa AP	28	10 ppb		Agua potable. Para toda la pe		1	563596	8505634	4286
5	1.5	Pirhuamarca	pukaqocha	70			puquio, consume		2			
5	1.5	Pirhuamarca	Wiruca puquid	287			Antes consumían		2	563992	8499095	3924
5	1.5	Pirhuamarca	Itanaqasa	118			consume piruamarca y Socob		2	562692	8499246	4026
5	1.5	Pirhuamarca	Wankani	455			Mantial que consume 1 fami		2	562744	8500581	4322
5	1.5	Pirhuamarca	Uchuy Puquio	504	500 ppb		Puquio, comumen		2	564335	8498488	3718
5	1.5	Pirhuamarca	Runguylla	138			Antes consumían		2	563835	8500601	4265
5	1.5	Pirhuamarca	Runguylla 2						2	563328	8500873	4333
5	1.5	Pirhuamarca	Qaywani Puqu	161	25 ppb		Puquio, consumen. Tener cuid		2	563666	8498716	3892
5	1.5	Pirhuamarca	Puquio qata	155			Antes consumían		2	564300	8499605	4063
5	1.5	Pirhuamarca	Miski puquio	365	5 ppb		Puquio, comumen		2	563609	8499822	4195

5	1.5	Pirhuamarca	Cerce puquio	365	5	ppb	Manatí principal para Cent	2	563690	8499359	4063
5	1.5	Pirhuamarca	Espiritu Puqui	419	5	ppb		2	563348	8499790	4216
5	1.5	Pirhuamarca	Condepuquio	141	5	ppb	Consumo, 1 sola familia. Cua	2	563683	8500137	4021
5	1.5	Pirhuamarca	Illahuaycco	287				2	563288	8499709	4216
5	1.5	Pirhuamarca	Hatun puquio	171				2	564233	8498991	3697
5	1.5	Pirhuamarca	Hatun Puquio	143				2	564162	8498456	3680
5	1.5	Pirhuamarca	Tranka puquio					2	563771	8499301	4054
5	1.5	Pirhuamarca	Cerce huaycco	20			OBSERVACIONES	1			
6	1.6	Socobamba	Yuracc puquio	174			Es Agua Potable	2	562557	8501886	4199
6	1.6	Socobamba	Yutu puquio	160	10	ppb		2	562268	8503110	4063
6	1.6	Socobamba	Yuracc Puquio	138			Agua potable, Yuraq puquio	1	562490	8502046	4167
7	1.7	Huertahuasi	Sacsahuana	31			Agua potable para centro	1	563301	8506415	4351
7	1.7	Huertahuasi	Qenwacucho	28			Agua potable para Qorihuayl	1	562520	8507287	4190
7	1.7	Huertahuasi	Agua potable centro					1	561636	8504147	4115
7	1.7	Huertahuasi	Agua potable centro					1	561636	8504147	4115
7	1.7	Huertahuasi	Qenwacha kucho- Qorihuaylla					1	562520	8507287	4190
8	1.8	Cerce	Chiri yaku	27			Agua potable	1			
8	1.8	Cerce	Cuchicancha	24			Agua potable	1			
8	1.8	Cerce	Qiwillaqa wac	141			Laguna	2			
9	1.9	Tuco	Tuco cruz	187				1	558018	8504368	4363
9	1.9	Tuco	Wiska waycco	285	10	ppb		1	557494	8508297	4200
9	1.9	Tuco	Yaku upyana	181	10	ppb		1	555892	8509058	4363
9	1.9	Tuco	Wayllachayoco	186	50	ppb		1	554383	8507682	4340
9	1.9	Tuco	Rosoco Iliwa	168	100	ppb		1	557702	8509231	4338
9	1.9	Tuco	Maraysera	42				1			
9	1.9	Tuco	Aqomate	50				1	550611	8507248	4549
9	1.9	Tuco	Sora pata	33				1	551682	8507515	4473
9	1.9	Tuco	Locerochayoco	171	10	ppb		1	554944	8507878	4267
9	1.9	Tuco	Millpucha					2	560921	8507616	4415
9	1.9	Tuco	Qinqu Pukru					2	554088	8507176	4437
1	2.1	Cuchoquesera	Llamakancha	24			Capación de Agua potable p	1	572718	8509341	3991
1	2.1	Cuchoquesera	Siniga Iliwa	17	5	ppb	Estamos tratando en empalm	2			
1	2.1	Cuchoquesera	Machurumi pu	33			onrrallapan, temporal, cuando	1	572167	8510827	3893
1	2.1	Cuchoquesera	Chullarumi	25				2			
1	2.1	Cuchoquesera	Boltoqocha	23				2			
1	2.1	Cuchoquesera	Pillku qasa	29				2			
2	2.2	Pampamarca	Ñawincucho	32			Capactación de agua potabl	1	570117	8510585	3950
2	2.2	Pampamarca	Ñawinpuquio	28				2			
2	2.2	Pampamarca	Tinkuq	32				2			
1	3.1	Puncupata	AP	22				1			
1	3.1	Puncupata	Tapaqocha 3	15				2	566910	8505931	4299
1	3.1	Puncupata	Tapaqocha 2	11				2	566829	8506114	4282
1	3.1	Puncupata	Qallucha qata	25			Captación de agua potable	1			
1	3.1	Puncupata	Tapaqocha 1	15				2	566632	8505910	4321
1	3.1	Puncupata	Andrés multat	10				1	564099	8508697	4064
1	3.1	Puncupata	Yaku tuqyacc	10			Agua potable, hay 5 mananti	1	565428	8510485	3856
2	3.2	Union Potrero	Cochapampa	90				2			
2	3.2	Union Potrero	Pukakunka	26			Captación de agua potable	1	563246	8509483	4017
2	3.2	Union Potrero	qallucha qasa	113	100	ppb	Captación de agua potable p	1	562804	8510817	3929
2	3.2	Union Potrero	qallucha qasa	19				2			
2	3.2	Union Potrero	Waracco	113			Agua potable con putaqa	1			
2	3.2	Union Potrero	Runa wafusqa	12			Exelente. En proceso de entu	1			
1	4.1	Catalinayocc	Ichucruz	21				1	566581	8512038	3715
1	4.1	Catalinayocc	Ingahuasi	37				1	567388	8509343	3961
1	4.1	Catalinayocc	Laqaypampa	28				1	566246	8511304	3932
1	4.1	Catalinayocc	Qotollihua	36				1			
1	4.1	Catalinayocc	Qutullwi	24				1			
2	4.2	Musucllaqta	Challwacha	46				1	568073	8512798	3804

FOTOGRAFÍAS



Foto 2. Planta Piloto de Cerámica UNSCH. Preparación de pellets.



Foto 3. Lab. ABA, Retención de As.

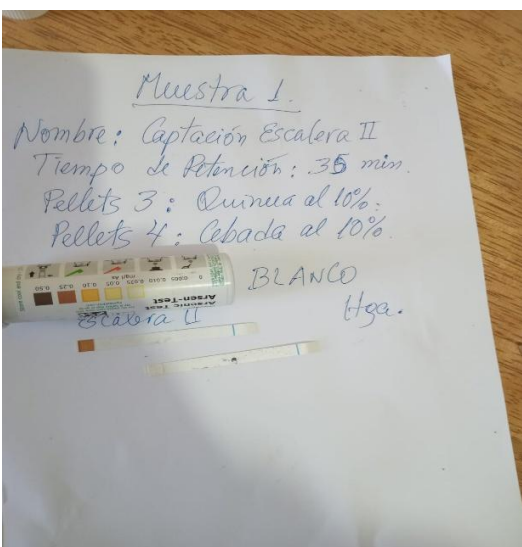


Foto 4. Lectura de remoción de As.

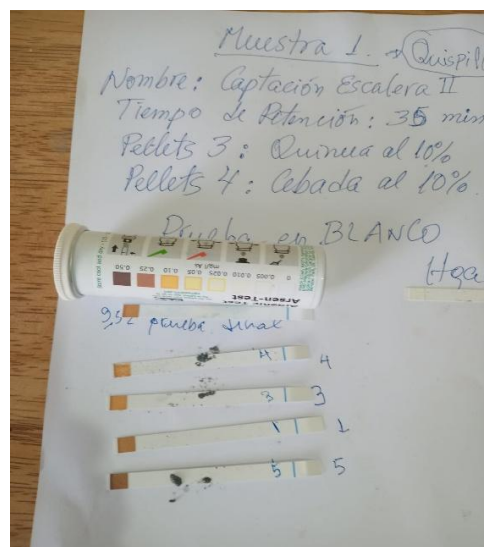


Foto 5. Lecturas de remoción de As.

Artículo científico

"Evaluación del Nivel de Arsénico en los Manantiales de los Centros Poblados de la Comunidad de Quispillaccta, Distrito de Chuschi, Provincia de Cangallo "

"Evaluation of the Arsenic Level in the Springs of the Populated Centers of the Quispillaccta Community, Chuschi District, Cangallo Province, in Peru"

Autor: Walter Efrain Alarcon Canchari

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

walkdealarcon@gmail.com

Resumen

La contaminación por arsénico en fuentes de agua constituye un problema crítico de salud pública en comunidades altoandinas del Perú. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la concentración de arsénico en los manantiales de la comunidad campesina de Quispillaccta, distrito de Chuschi, provincia de Cangallo. Se aplicó un diseño descriptivo, no experimental, con enfoque mixto, que combinó talleres comunitarios y análisis técnico durante 2023–2024. Se recolectaron 36 muestras representativas de los 14 centros poblados y se analizaron mediante pruebas de campo (TDS, kits colorimétricos) y confirmación en laboratorio acreditado. Los resultados evidenciaron que todas las fuentes muestreadas presentan contaminación por arsénico, con valores entre 5 ppb y 500 ppb; la mitad de las fuentes superó el límite de 10 ppb establecido por la OMS, y cuatro alcanzaron niveles críticos (>400 ppb). El laboratorio confirmó que los kits subestiman las concentraciones reales, con una desviación promedio del 71 %. Como medida inmediata, la comunidad sustituyó

fuentes altamente contaminadas por manantiales de mayor pureza, aunque persiste el desafío de implementar tecnologías accesibles para la remoción del arsénico. Este trabajo aporta evidencia científica sobre la magnitud del problema y ofrece un modelo replicable para la gestión comunitaria del agua en regiones rurales altoandinas.

Palabras clave: arsénico, agua potable, contaminación ambiental, salud pública, comunidades altoandinas.

Abstract

Arsenic contamination in water sources is a critical public health problem in high Andean communities in Peru. This study aimed to evaluate arsenic concentrations in the springs of the rural community of Quispillaccta, Chuschi district, Cangallo province. A descriptive, non-experimental, mixed-methods design was used, combining community workshops and technical analysis during 2023–2024. Thirty-six representative samples were collected from the 14 population centers and analyzed using field tests (TDS, colorimetric kits) and confirmation in an accredited laboratory. The results showed that all sampled sources were contaminated with arsenic, with values between 5 ppb and 500 ppb; half of the sources exceeded the WHO limit of 10 ppb, and four reached critical levels (>400 ppb). The laboratory confirmed that the kits underestimate the actual concentrations, with an average deviation of 71%. As an immediate measure, the community replaced highly contaminated sources with purer springs, although the challenge of implementing accessible arsenic removal technologies remains. This work provides scientific evidence on the magnitude of the problem and offers a replicable model for community-based water management in high Andean rural regions.

Keywords: arsenic, drinking water, environmental pollution, public health, high Andean communities.

I. Introducción

La contaminación del agua por arsénico constituye uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un límite máximo de **10 µg/L de arsénico en agua potable**; sin embargo, numerosos países de Asia y América Latina —entre ellos Bangladesh, India, Argentina, Chile y México— han reportado concentraciones que superan ampliamente este umbral, generando impactos severos en la salud de las poblaciones expuestas, como lesiones cutáneas, cánceres y enfermedades cardiovasculares (Bundschuh et al., 2021; World Health Organization, 2017).

En el Perú, estudios recientes han evidenciado que más del **80 % de las fuentes subterráneas en distritos como Juliaca y Caracoto exceden el límite recomendado**, lo que refleja la magnitud del problema en las comunidades altoandinas (Adama Victorio et al., 2026). En este contexto, la comunidad campesina de Quispillaccta, ubicada en el distrito de Chuschi, provincia de Cangallo (Ayacucho), enfrenta una situación crítica: la dependencia de manantiales como principal fuente de abastecimiento, sumada a la limitada infraestructura de tratamiento, incrementa la vulnerabilidad frente a la exposición prolongada al arsénico.

Ante esta problemática, la Asociación Bartolomé Aripaylla (ABA), reconocida internacionalmente por la práctica ancestral de la “siembra y cosecha del agua”, impulsó desde 2022 talleres comunitarios y la implementación de un laboratorio local para la detección de metales pesados. Estas acciones permitieron iniciar un mapeo de

los manantiales y evidenciar la presencia de arsénico en niveles preocupantes (ScienceDirect, 2024).

El presente estudio tiene como objetivo **evaluar la concentración de arsénico en los manantiales de los 14 centros poblados de la Comunidad de Quispillaccta**, con el fin de identificar fuentes aptas y no aptas para el consumo humano y proponer medidas de tratamiento que reduzcan la exposición a niveles seguros. Este trabajo busca aportar evidencia científica sobre la calidad del agua en comunidades rurales altoandinas y ofrecer un modelo replicable para otras regiones del Perú y Latinoamérica.

II. Metodología

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, con predominancia cuantitativa y un componente cualitativo orientado a la participación comunitaria. El diseño fue no experimental, descriptivo y analítico, centrado en la caracterización de la contaminación por arsénico en los manantiales de la Comunidad de Quispillaccta (Distrito de Chuschi, Ayacucho).

Procedimiento

Recolección de muestras: Se obtuvieron 36 muestras de agua de manantiales, riachuelos, acequias y sistemas entubados de los 14 centros poblados de la comunidad. Cada muestra fue georreferenciada mediante GPS.

Pruebas preliminares: Se aplicaron mediciones de turbidez, pH y sólidos disueltos totales (TDS), junto con pruebas electrolíticas para identificar posibles contaminaciones.

Detección de arsénico: Se emplearon kits colorimétricos semicuantitativos (0–500 ppb) para clasificar las fuentes según su nivel de contaminación.

Análisis confirmatorio: Las muestras con mayores concentraciones fueron enviadas a un laboratorio acreditado por INACAL en Lima, donde se aplicaron métodos espectroscópicos para cuantificación precisa.

Técnicas complementarias

Se realizaron talleres comunitarios y entrevistas con autoridades y pobladores, integrando conocimientos tradicionales sobre la “siembra y cosecha del agua” con los resultados técnicos.

Validez y confiabilidad

Los instrumentos de campo (TDS, kits colorimétricos) ofrecieron una primera aproximación rápida y económica.

La confirmación en laboratorio acreditado garantizó la exactitud y confiabilidad de los datos.

Alcance

La metodología permitió elaborar un mapa temático de contaminación por arsénico, identificar fuentes aptas y no aptas para consumo humano, y evaluar medidas de mitigación replicables en otras comunidades altoandinas.

III. Resultados y discusión

Resultados

Fuentes de agua registradas: Se identificaron 171 fuentes en la comunidad de Quispillaccta; 136 fueron sometidas a pruebas preliminares de TDS.

Tabla 7*Resultados Preliminares de las Mediciones de TDS*

Criterios de aceptabilidad y sabor	Rango de TDS, ppm	Número de fuentes de agua
Insípida	< 100	50
Excelente	100 - 300	56
Aceptable, ligero sabor	300 - 600	19
Regular, rechazada por su sabor	600 - 900	10
Pobre, no recomendable	900 - 1200	1
TOTAL		136

Nota. Elaboración propia con los rangos ofrecidos por la OMS.

Pruebas de TDS: El 78 % de las fuentes se ubicaron en rangos de aceptabilidad según la OMS (insípida y excelente). Sin embargo, algunas alcanzaron valores superiores a 900 ppm, considerados no recomendables.

Pruebas con kit de arsénico: De 36 muestras analizadas, la mitad presentó niveles dentro del rango seguro (<10 ppb), mientras que la otra mitad mostró concentraciones que van desde exposición crónica (10–35 ppb) hasta toxicidad aguda grave (>500 ppb).

Análisis en laboratorio acreditado: Tres muestras confirmaron la validez de la metodología. Los resultados mostraron desviaciones significativas respecto al kit colorimétrico (hasta 71 % en promedio), evidenciando que el kit subestima la concentración real.

Tabla 8*Concentración de Arsénico en Orden Descendente*

Localidad	Fuente de agua	TDS, ppm	As, ppb
Villa Vista	<i>Antahuayqo Mollebamba</i>	<i>700</i>	<i>500</i>
Villa Vista	<i>Itana Huaycco</i>	<i>651</i>	<i>500</i>
Pirhuamarca	<i>Uchuy Puquio</i>	<i>504</i>	<i>500</i>
Villa Vista	<i>Itana Huaycco</i>	<i>437</i>	<i>500</i>
Pirhuamarca	<i>Wasa Puquio</i>	<i>623</i>	<i>400</i>
Villa Vista	<i>Amacheta</i>	<i>642</i>	<i>250</i>
Villa Vista	<i>Chilla Pampa</i>	<i>525</i>	<i>250</i>
Villa Vista	<i>Amacheta</i>	<i>499</i>	<i>250</i>
Villa Vista	<i>Witku Escalera (potable)</i>	<i>187</i>	<i>250</i>
Villa Vista	<i>Itana Huaycco - Milqui</i>	<i>187</i>	<i>250</i>
Tuco	<i>Rosoqo Lliwa</i>	<i>168</i>	<i>100</i>
Union Potrero	<i>Qallucha Qasa</i>	<i>113</i>	<i>100</i>
Villa Vista	<i>Ruqruqa</i>	<i>1007</i>	<i>50</i>
Villa Vista	<i>Matuma Capilla 2</i>	<i>388</i>	<i>50</i>
Villa Vista	<i>Pillahua-Witkukucho</i>	<i>277</i>	<i>50</i>
Tuco	<i>Wayllachayocc</i>	<i>186</i>	<i>50</i>
Villa Vista	<i>Witku Pillahua</i>	<i>201</i>	<i>25</i>
Pirhuamarca	<i>Qaywani Puquio</i>	<i>161</i>	<i>25</i>
Pirhuamarca	<i>Chullkumayu</i>	<i>717</i>	<i>10</i>
Pirhuamarca	<i>Yakuqochaq</i>	<i>388</i>	<i>10</i>
Villa Vista	<i>Pachqa Quispillaccta</i>	<i>374</i>	<i>10</i>
Tuco	<i>Wiska Waycco</i>	<i>285</i>	<i>10</i>
Tuco	<i>Yaku Upyana</i>	<i>181</i>	<i>10</i>
Tuco	<i>Lucerochayocc</i>	<i>171</i>	<i>10</i>
Socobamba	<i>Yutu Puquio</i>	<i>160</i>	<i>10</i>
Pirhuamarca	<i>Cruz Qasa AP</i>	<i>28</i>	<i>10</i>
Villa Vista	<i>Betayaku 3</i>	<i>22</i>	<i>10</i>
Llacctahurán	<i>Puquio Muqu</i>	<i>658</i>	<i>5</i>
Villa Vista	<i>Qinwapuquio 1</i>	<i>534</i>	<i>5</i>
Villa Vista	<i>Paqcha (Quispillaccta)</i>	<i>462</i>	<i>5</i>
Pirhuamarca	<i>Espiritu Puquio</i>	<i>419</i>	<i>5</i>
Pirhuamarca	<i>Miski Puquio</i>	<i>365</i>	<i>5</i>
Pirhuamarca	<i>Cerce Puquio</i>	<i>365</i>	<i>5</i>
Llacctahurán	<i>Pusu Huaycco</i>	<i>248</i>	<i>5</i>
Pirhuamarca	<i>Condepuquio</i>	<i>141</i>	<i>5</i>
Cuchoquesera	<i>Siniga Lliwa</i>	<i>17</i>	<i>5</i>

Tabla 9*Niveles de Riesgo y Rango de Concentraciones de Arsénico*

Niveles de riesgo	Rango de concentración de as, ppb	Número de fuentes de agua
Nivel seguro (OMS)	< 10	18
Exposición Crónica	10 - 35	2
Riesgo Agudo	35 - 300	11
Toxicidad Aguda	300 - 500	1
Toxicidad Aguda Grave	> 500	4
	Total	36

Tabla 10*Comparación de la Concentración Real del Arsénico con la del Kit de Arsénico*

Fuente de agua	Kit de arsénico, ppb	Laboratorio acreditado, ppb	Desviación, %
Escalera Qata	250	397	59
Witkucucho	25	46	84
	Desviación Promedio		71

Ensayo con métodos artesanales: Se probaron pellets de arcilla roja locales para adsorción de arsénico, pero los resultados fueron negativos debido a la contaminación propia de las arcillas, descartando esta alternativa.

Discusión

Contaminación predominante: El problema central en Quispillaccta no es microbiológico (como suele vigilarse con cloración), sino la presencia de arsénico en niveles peligrosos.

Relación TDS–arsénico: Se comprobó que un alto contenido de sólidos disueltos no necesariamente implica mayor concentración de arsénico, invalidando la hipótesis inicial.

Población en riesgo: Aproximadamente la mitad de la población está expuesta a niveles de arsénico que van desde crónicos hasta agudos, lo que representa un riesgo grave para la salud pública.

Limitaciones metodológicas: El kit de arsénico es útil para detección rápida y mapeo comunitario, pero subestima los valores reales. Los análisis de laboratorio son indispensables para confirmar la magnitud del problema.

Medidas de prevención: Se recomienda sustituir fuentes contaminadas por manantiales de gran pureza ya identificados, promover la recolección de agua de lluvia en sistemas familiares y comunitarios, y evaluar tecnologías accesibles de filtración (arena, hierro) frente a las opciones más costosas como nanofiltros.

Conclusiones

a) Determinación de la concentración de arsénico

El estudio confirmó la presencia de arsénico en todas las fuentes de agua muestreadas de la comunidad de Quispillaccta. Las concentraciones oscilaron entre 5 ppb y 500 ppb, superando en varios casos el límite máximo de 10 ppb establecido por la OMS. Los análisis en laboratorio acreditado evidenciaron que la contaminación es más grave de lo que reflejan las pruebas con kits colorimétricos, lo que subraya la necesidad de medidas urgentes de control.

b) Fuentes aptas y no aptas para consumo humano

De las 36 muestras analizadas, 18 cumplen con los estándares de seguridad

(<10 ppb), mientras que las otras 18 no son aptas para consumo humano.

Cuatro fuentes presentaron niveles alarmantes (>400 ppb), representando un riesgo crítico para la salud pública. Se logró identificar y clasificar las fuentes aptas y no aptas, lo que constituye un insumo clave para la gestión comunitaria del agua.

c) Medidas de mitigación y saneamiento

La comunidad adoptó como medida inmediata la sustitución de las fuentes altamente contaminadas por manantiales de mayor pureza, garantizando un suministro más seguro. El ensayo con métodos artesanales de purificación mediante arcillas rojas resultó ineficaz, descartando esta alternativa local.

Persiste el desafío de implementar tecnologías accesibles y sostenibles para la reducción del arsénico, como filtros comunitarios o el aprovechamiento del agua de lluvia.

En resumen, la investigación demuestra que la contaminación por arsénico en Quispillaccta es un problema severo y subestimado, que requiere acciones inmediatas de mitigación, monitoreo continuo y exploración de soluciones tecnológicas adaptadas al contexto rural altoandino.

Referencias bibliográficas

- Adama Victorio, R. L., Arango Chumpitazi, K. S., Vargas-Fernández, R., Visconti-Lopez, F. J., Comandé, D., & Hernández-Vásquez, A. (2026). Arsenic levels in humans and water sources for human consumption in Peru: A systematic review. *South Sustainability*, 7(1), e143. <https://doi.org/10.21142/SS-0701-2026-e143> ([doi.org in Bing](https://doi.org/10.21142/SS-0701-2026-e143))

- Bundschuh, J., García, M. E., Birkle, P., Cumbal, L. H., Bhattacharya, P., & Matschullat, J. (2021). Occurrence, health effects and remediation of arsenic in groundwaters of Latin America. In *Groundwater Arsenic in Latin America* (pp. 1–25). CRC Press.
- ScienceDirect. (2024). Arsenic in natural waters of Latin-American countries: Occurrence, risk assessment, low-cost methods, and technologies for remediation. *Process Safety and Environmental Protection*.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.012> ([doi.org in Bing](https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.012))
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO.

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0064-2026-UNSCH-EPG/KBA

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N°002-2026-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. WALTER EFRAIN ALARCON CANCHARI
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS	Evaluación del nivel de arsénico en los manantiales de los centros poblados de la Comunidad de Quispillaccta, Distrito de chuschi, Provincia de Cangallo
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	12% de similitud
N° DE TRABAJO	2993662528
FECHA	05 de julio de 2026

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

05 de julio de 2026.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Luis Benzo Argumedo
Jefe de Investigación

CC.
Archivo
KBA/

Evaluación del nivel de arsénico en los manantiales de los centros poblados de la Comunidad de Quispillaccta, Distrito de Chuschi, Provincia de Cangallo

por Walter Efrain ALARCON CANCHARI

Fecha de entrega: 05-jul-2026 11:31a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2993662528

Nombre del archivo: Walter_Efrain_ALARCON_CANCHARI_T.docx (1.07M)

Total de palabras: 16715

Total de caracteres: 97208

Evaluación del nivel de arsénico en los manantiales de los centros poblados de la Comunidad de Quispillaccta, Distrito de Chuschi, Provincia de Cangallo

INFORME DE ORIGINALIDAD			
12%	12%	7%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS	
1	www.infobae.com Fuente de Internet
2	www.ordessa.es Fuente de Internet
3	hdl.handle.net Fuente de Internet
4	docplayer.es Fuente de Internet
5	documents.mx Fuente de Internet
6	Percca Naira, Nelida. "Evaluacion de la calidad de agua para consumo humano y su incidencia en la salud de la poblacion del distrito de Putina region Puno - 2024", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru), 2025 Publicación
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet
8	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet
9	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet
10	capital24.com.ar Fuente de Internet
11	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante
12	1library.co Fuente de Internet
13	redagua.org Fuente de Internet
14	germanfernandez.com Fuente de Internet

15 www.derechoshumanospuno.org.pe
Fuente de Internet

16 repositorio.udh.edu.pe
Fuente de Internet

17 Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica
Trabajo del estudiante

18 todosloshechos.es
Fuente de Internet

19 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Trabajo del estudiante

20 Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal
Trabajo del estudiante

21 repositorio.unjfsc.edu.pe
Fuente de Internet

22 larepublica.pe
Fuente de Internet

23 repositorio.upt.edu.pe
Fuente de Internet

24 Civantos Benito, Jose Ramon. "Conservación de la trucha (*Salmo gairdneri tridens*) por medio de radiaciones ionizantes y estudios toxicológicos.", Universidad Complutense de Madrid (Spain)
Publicación

25 repositorio.unapiquitos.edu.pe
Fuente de Internet

26 repositorio.upsc.edu.pe
Fuente de Internet

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°0077-2026-UNSCH-EPG/D.

Siendo las 10:30 a.m. del 13 de abril de 2026 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Dr. MARCELINO POMASONCCO ILLANES** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mtro. ABEL NILO JUSCAMAYTA TOMASEVICH** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. GUIDO PALOMINO HERNANDEZ** y el **Mg. EDGAR GREGORIO ARONES MEDINA**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ARSÉNICO EN LOS MANANTIALES DE LOS CENTROS POBLADOS DE LA COMUNIDAD DE QUISPILLACCTA, DISTRITO DE CHUSCHI, PROVINCIA DE CANGALLO**, presentado por el **Bach. WALTER EFRAIN ALARCON CANCHARI**. Teniendo como asesor al **Dr. AGUSTIN JULIAN PORTUGUEZ MAURTUA**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: Quince (15).

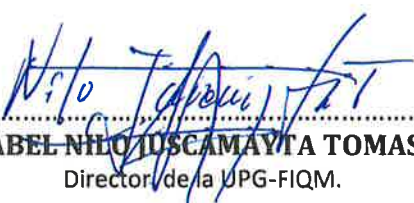
CALIFICACION (x)	
Aprobado(a) por Unanimidad.	☒
Aprobado(a) por Mayoría.	☐
Desaprobado(a) por Unanimidad.	☐
Desaprobado(a) por Mayoría.	☐

Marcar con un aspa (x).

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue al **Bach. WALTER EFRAIN ALARCON CANCHARI**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Siendo las....12:15 pm.....hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las....12:15 pm.....hrs. del 13 de abril de 2026.


.....
Dr. MARCELINO POMASONCCO ILLANES
Director (e) de la Escuela de Posgrado.


.....
Mtro. ABEL NILO JUSCAMAYTA TOMASEVICH
Director de la UPG-FIQM.


.....
Dr. GUIDO PALOMINO HERNANDEZ
Miembro.


.....
Mg. EDGAR GREGORIO ARONES MEDINA
Miembro.


.....
Dr. ENRIQUE JAVIER AGUILAR FELICES
Secretario Docente.

Observaciones: