

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR LIXIVIADOS DE
RESIDUOS SÓLIDOS EN EL BOTADERO MUNICIPAL DEL DISTRITO DE**

MUÑANI, PUNO - 2023

PRESENTADA POR:

LIDIA NIEVES GOMEZ QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2023



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



9.67%

SIMILARITY OVERALL

0%

POTENTIALLY AI

SCANNED ON: 5 OCT 2023, 6:41 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
3.6%

● CHANGED TEXT
6.07%

Most likely AI

Highlighted sentences with the lowest perplexity, most likely generated by AI.

● LIKELY AI
0%

● HIGHLY LIKELY AI
0%

Report #18354553

LIDIANIEVES GOMEZ QUISPE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL BOTADERO MUNICIPAL DEL DISTRITO

DE MUÑANI, PUNO - 2023 RESUMEN El objetivo de la presente tesis

fue determinar el nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del

distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023. 25 Dentrode la metodología

empleada estuvo el enfoque cuantitativo, el tipo básico, el alcance

descriptivo y, el diseño no experimental con corte transversal-prospectivo.

Lapoblación fueron muestras de agua subterránea extraída de los

acuíferos situados en el distrito Muñani, Puno - 2023. La cantidad

muestral fue 03. Para la recolección de estas muestras se empleó la

técnica de observación directa. Y, como instrumentos se tuvo en

cuenta la guía de observación de campo y la ficha de recolección

de datos cuantitativos. Posterior a la recolección, estas fueron

enviadas a analizar al Instituto Nacional de Innovación Agraria

(INIA). Los resultados revelaron las siguientes concentraciones promedio:

Primero, los parámetros fisicoquímicos como la temperatura 7°C,

conductividad (119.50 ± 2.44) $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH (7.60 ± 0.07), Alcalinidad (176

$.41 \pm 35.58$) mg/L y Cloruro (26 ± 8.92) mg/L. Segundo,

la concentración de Carbono orgánico total (17.40 ± 5.33), Potasio

(16.15 ± 4.39) mg/L, Amoniaco (3.55 ± 1.12) mg/L, Sulfatos (44

Yudy Roxana ALANIA LAQUI

Oficina de Repositorio Institucional

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR LIXIVIADOS DE
RESIDUOS SÓLIDOS EN EL BOTADERO MUNICIPAL DEL DISTRITO DE
MUÑANI, PUNO - 2023**

PRESENTADA POR:

LIDIA NIEVES GOMEZ QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA.

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. JORGE ABAD CALISAYA CHUQUIMIA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 16 de octubre del 2023

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones cada día de vida y por haberme permitido llegar a este tan anhelado momento de mi vida.

A mis queridos padres Isidro Gomez Huanca y Juliana Quispe Cuaquira, a quienes les agradezco su incansable apoyo, sin el cual esta tesis no habría sido posible. A mis hermanos y hermanas, mis confidentes y compañeros de estudios. A mis docentes, quienes me han enseñado y me han ayudado a madurar intelectual y profesionalmente.

Gracias por confiar en mí.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de todo corazón a Dios y a todas las personas y circunstancias que han contribuido a mi crecimiento intelectual y a la realización de esta tesis.

En primer lugar, a mis padres y familiares cercanos, por siempre estar para mí y por brindarme una educación excelente.

A la Universidad Privada San Carlos, a la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por haber contribuido en mi formación como profesional durante mis años de estudio y a cada uno de los docentes, por haberme brindado sus conocimientos y experiencias.

A los miembros del jurado por compartirme sus experiencias, consejos y observaciones.

A mi asesor por brindarme su apoyo permanente en las diferentes etapas de este trabajo de tesis.

Agradecimiento sincero a todas las personas, amigos y familiares que de manera directa e indirecta me motivaron y contribuyeron en la ejecución y culminación de la presente tesis de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN.	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
1.1.1. Problema general	17
1.1.2. Problemas específicos	17
1.1.3. Justificación teórica	17
1.1.4. Justificación metodológica	18
1.1.5. Justificación práctica	18
1.2. ANTECEDENTES.	19
1.2.1. Internacional	19
1.2.2. Nacional	22
1.2.3. Local	23
1.3. OBJETIVOS.	26
1.3.1. Objetivo general.	26
1.3.2. Objetivos específicos.	26

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.	27
2.1.1 Contaminación del agua subterránea	27
2.1.2. Afloramiento de lixiviados.	29
2.1.3. Lixiviación de residuos sólidos.	30
2.1.4. Calidad del agua subterránea.	34
2.2. MARCO CONCEPTUAL.	36
2.3. MARCO LEGAL.	40
2.3.1. Botadero municipal.	40
2.3.2. Contaminación de aguas subterráneas.	42
2.4. HIPÓTESIS	42
2.4.1. Hipótesis general	42
2.4.2. Hipótesis específicas.	42

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	43
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	45
3.2.1 Población	45
3.2.1. Muestra	46
3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS	46
3.3.1. Tipo de Investigación	46
3.3.2. Diseño de Investigación	46
3.3.3. Método	47
3.3.4. Técnicas de recolección de datos	47
3.3.5. Instrumentos de recolección de datos	48
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	49
3.4.1. Operacionalización de las variables	49

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	50
3.5.1. Procedimientos de recolección y análisis de datos	50
3.5.2. Estrategias por cada objetivo específico.	51
3.5.3. Materiales	52
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. AFLORAMIENTO DE LIXIVIADOS	53
4.1.1. Infiltraciones laterales	53
4.1.2. Infiltraciones subterráneas	58
4.2. PARÁMETRO DE LOS LIXIVIADOS	62
4.2.1. Parámetros físicos del agua	62
4.2.2. Parámetros químicos del agua	63
4.2.3. Concentración de Lixiviados de residuos sólidos	65
4.3. COMPARATIVA ECA-MINAM-2012 - AGUAS SUBTERRÁNEAS	66
4.3.1. Temperatura	66
4.3.2. Conductividad eléctrica.	68
4.3.3. pH.	70
4.3.4. Alcalinidad.	72
4.3.5. Cloruros.	74
4.3.6. Lixiviados de residuos sólidos	76
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Estrategias por cada objetivo específico de investigación	51
Tabla 02: Características físicas del agua subterránea cerca del botadero	62
Tabla 03: Características químicas del agua subterránea del botadero	63
Tabla 04: Lixiviados de residuos sólidos en aguas subterráneas	65
Tabla 05: Comparativa entre Temperaturas registrada*promedio	67
Tabla 06: Comparativa de parámetros - variación de Temperatura de aguas subterráneas	68
Tabla 07: Comparativa de parámetros sobre Conductividad eléctrica de aguas subterráneas	69
Tabla 08: Comparativa de parámetros sobre el pH de aguas subterráneas	71
Tabla 09: Comparativa de parámetros sobre el Alcalinidad de aguas subterráneas	73
Tabla 10: Comparativa de parámetros sobre el Cloruro de aguas subterráneas	75
Tabla 11: Comparativa de parámetros sobre el COT en aguas subterráneas	76
Tabla 12: Comparativa de parámetros sobre el Potasio en aguas subterráneas	78
Tabla 13: Comparativa de parámetros sobre el Amoniacó en aguas subterránea	79
Tabla 14: Comparativa de parámetros sobre el Sulfato en aguas subterránea	81
Tabla 15: Comparativa de parámetros sobre el Sodio en aguas subterránea	82
Tabla 16: Comparativa de parámetros sobre el Cromo en aguas subterránea	83
Tabla 17: Comparativa de parámetros sobre el Mercurio en aguas subterránea	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Área de influencia del distrito de Muñani	43
Figura 02: Área de influencia del botadero municipal en el distrito de Muñani.	44
Figura 03: Afloramiento de Lixiviados en el perímetro del botadero	53
Figura 04: Afloramiento de Lixiviados en el pie del talud interno del botadero	54
Figura 05: Afloramiento de Lixiviados laterales como flujo superficial del botadero	56
Figura 06: Afloramiento de Lixiviados en regueros cerca al botadero	57
Figura 07: Inexistencia de impermeabilización en el botadero	58
Figura 08: Inexistencia de una red de drenaje subsuperficial	59
Figura 09: Inexistencia del sistema de evacuación de lixiviados.	61
Figura 10: Gráfico de barras de las características físicas del agua subterránea	62
Figura 11: Gráfico de barras de las características químicas del agua subterránea	64
Figura 12: Gráfico de barras de Lixiviados de residuos sólidos en aguas subterráneas	66
Figura 13: Comparativa entre Temperaturas registrada*promedio	67
Figura 14: Comparativa de parámetros sobre Conductividad eléctrica de aguas subterráneas	69
Figura 15: Comparativa de parámetros sobre el pH de aguas subterráneas	71
Figura 16: Comparativa de parámetros sobre el Alcalinidad de aguas subterráneas	73
Figura 17: Comparativa de parámetros sobre el Cloruro de aguas subterráneas	75
Figura 18: Comparativa de parámetros sobre el COT en aguas subterráneas	77

Figura 19: Comparativa de parámetros sobre el Potasio (K+) en aguas subterráneas	78
Figura 20: Comparativa de parámetros sobre el Amoniacaco en aguas subterráneas	80
Figura 21: Comparativa de parámetros sobre el Sulfato en aguas subterráneas	81
Figura 22: Comparativa de parámetros sobre el Sodio en aguas subterráneas	82
Figura 23: Comparativa de parámetros sobre el Cromo en aguas subterráneas	83
Figura 24: Comparativa de parámetros sobre el Mercurio en aguas subterráneas	84

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz De Consistencia.	111
Anexo 02: Instrumentos Para Recolectar Datos.	114
Anexo 03: Georeferencia Del Área De Estudio	123
Anexo 04: Certificado De Análisis Físico-Químico	128
Anexo 05: ECA-MINAM-2012	129
Anexo 06: Valle Ramis	130
Anexo 07: Temperatura Promedio En Muñani	131
Anexo 08: Conversión De Valores De Conductividad Eléctrica	132
Anexo 09: Comparativa Eca-Minam-2012 Para Aguas Subterráneas	134
Anexo 10: Índice De Calidad Del Agua (WQI)	135
Anexo 11: Incertidumbre O Variabilidad (\pm)	137

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue determinar el nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023. Dentro de la metodología empleada estuvo el enfoque cuantitativo, el tipo básico, el alcance descriptivo y, el diseño no experimental con corte transversal-prospectivo. La población de estudio está conformada por agua subterránea extraída de los acuíferos situados en el distrito Muñani, Puno - 2023. La cantidad muestral fue 03. Para la recolección de estas muestras se empleó la técnica de observación directa. Y, como instrumentos se tuvo en cuenta la guía de observación de campo y la ficha de recolección de datos cuantitativos. Posterior a la recolección, estas fueron enviadas a analizar al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Los resultados revelaron las siguientes concentraciones promedio: Primero, los parámetros fisicoquímicos como la temperatura 7°C , conductividad (119.50 ± 2.44) $\mu\text{S/cm}$, pH (7.60 ± 0.07), Alcalinidad (176.41 ± 35.58) mg/L y Cloruro (26 ± 8.92) mg/L. Segundo, la concentración de Carbono orgánico total (17.40 ± 5.33), Potasio (16.15 ± 4.39) mg/L, Amoniac (3.55 ± 1.12) mg/L, Sulfatos (44.02 ± 2) mg/L, Sodio (4.44 ± 1.30) mg/L. Y, tercero, los metales pesados como el Cromo (0.00 ± 0.01) mg/L y Mercurio 0.00 mg/L. Estos resultados fueron sometidos a diferentes pruebas estadísticas; los cuales posteriormente se interpretaron, compararon y contrastaron con los hallazgos de otros estudios nacionales e internacionales. Concluyendo así, que existirían bajos niveles de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno – 2023.

Palabras clave: Agua subterránea, Botadero, Contaminación, Lixiviado, Residuos Sólidos.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the level of groundwater contamination in the aquifer located in the area of influence of the municipal dump of the Muñani district, province of Azángaro, Puno - 2023. The methodology used was the quantitative approach, basic type, descriptive scope and non-experimental design with a cross-sectional-prospective cut. The population were groundwater samples extracted from aquifers located in the Muñani district, Puno - 2023. The sample quantity was 03. For the collection of these samples, the direct observation technique was used. The field observation guide and the quantitative data collection form were used as instruments. After collection, the samples were sent for analysis to the National Institute for Agrarian Innovation (INIA). The results revealed the following average concentrations: First, the physicochemical parameters such as temperature 7°C , conductivity (119.50 ± 2.44) $\mu\text{S/cm}$, pH (7.60 ± 0.07), Alkalinity (176.41 ± 35.58) mg/L and Chloride (26 ± 8.92) mg/L. Second, the concentration of total organic carbon (17.40 ± 5.33), Potassium (16.15 ± 4.39) mg/L, Ammonia (3.55 ± 1.12) mg/L, Sulfates (44.02 ± 2) mg/L, Sodium (4.44 ± 1.30) mg/L. And, third, heavy metals such as Chromium (0.00 ± 0.01) mg/L and Mercury 0.00 mg/L. These results were subjected to different statistical tests; which were later interpreted, compared and contrasted with the findings of other national and international studies. Thus concluding that there would be low levels of groundwater contamination in the aquifer located in the area of influence of the municipal dump of the Muñani district, province of Azángaro, Puno - 2023.

Key words: Groundwater, Landfill, Contamination, Leachate, Solid Waste.

INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto de investigación surge con la finalidad de evaluar la calidad del agua subterránea y el deficiente manejo de residuos sólidos municipales, la presencia de fenómenos aluviales constantes en la zona tiene un impacto directo sobre la generación de grandes cantidades de lixiviados en el botadero potencial contaminación en aguas subterráneas que abastecen del recurso hídrico a la población esto viene provocando diversos impactos ambientales que afectan a los ecosistemas y poblaciones asentadas en territorios adyacentes a botaderos, este trabajo de investigación tiene una estructura que se dividió en cinco capítulos. En el Capítulo I, se describió la realidad problemática a resolver, se formularon las preguntas objetivos y justificación de la investigación. Asimismo, se expusieron los antecedentes nacionales, internacionales y locales.

En el Capítulo II, se diseñó el marco teórico con fuentes confiables y congruentes con el problema de investigación —respetando la estructura del formato APA, citando adecuadamente a los autores—, asimismo, se establecieron los términos del marco conceptual y se estableció el marco legal bajo el cual se sustenta el presente estudio. Paraleamente, se formularon las Hipótesis general y específicas.

En el Capítulo III, se describió la zona de estudio, se especificó el tamaño y tipo de muestra a estudiar. Se estableció el diseño metodológico, los métodos y técnicas de recolección, así como los instrumentos de recolección. Asimismo, se construyó la operacionalización de las variables de estudio. Y por otro lado, se especificaron los procedimientos, estrategias y materiales que se requirieron para la investigación.

Posteriormente, en el Capítulo IV, se presentaron los resultados de investigación bajo el grupo de Afloramiento de Lixiviados, Parámetros de los lixiviados y comparativa ECA-MINAM-2012 para aguas subterráneas. Finalmente se plantearon las conclusiones y recomendaciones de investigación

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El problema de salud pública de la contaminación del agua es un tema común que no discrimina a ningún país a nivel mundial, ya que afecta negativamente a países de todos los niveles de desarrollo, riqueza y clima. Se calcula que 2.000 millones de personas en todo el mundo beben agua impura, contaminada por sustancias extrañas que podrían ser perjudiciales para su salud (NIEHS, 2023).

Con el desarrollo de la economía y el elevado nivel de vida de las personas en China, la tasa de aumento en la producción de residuos sólidos municipales (RSU) ha superado el 10 % anual. En 2019, la cantidad de RSU desechados en China alcanzó los 242 millones de toneladas, y el volumen acumulado de RSU desechados ahora supera los 7 mil millones de toneladas (Zhepei et al., 2022).

Más del 80 % de los desechos recolectados en la India se eliminan en vertederos de manera antihigiénica, causando problemas de salud y ambientales. Las fugas de lixiviados tienen el impacto más significativo en el entorno circundante cerca de los vertederos debido a las altas cantidades de metales pesados, compuestos orgánicos y sustancias venenosas que se encuentran en los lixiviados (Ratna et al., 2021).

Estados Unidos y Canadá no son una excepción, ya que ambos luchan contra la contaminación del agua. Tanto el noreste de Estados Unidos como la región atlántica de Canadá tienen una rica historia de lucha contra la contaminación del agua en sus

comunidades rurales. El agua rural corre un mayor riesgo de contaminación porque las familias dependen de pozos privados excavados en el lecho rocoso de la zona. Estas comunidades consumen el agua de sus pozos a diario, durante años y años, y la calidad de su agua es responsabilidad del propietario (Spooner, 2020).

En los países en vías de desarrollo, la eliminación insalubre de los residuos sólidos y los lixiviados, es la opción más practicada, por lo que generan problemas ambientales significativos, los métodos de tratamientos existentes son caros e ineficaces; por los riesgos, que consiste ha recibido recientemente una mayor atención por los especialistas; Actualmente, existen varios problemas y retos para el tratamiento de lixiviados en términos de sostenibilidad (Maturi et al., 2022).

A nivel de América Latina, México es uno de los países signatarios en los compromisos de la Agenda 2030 y tiene un gran reto en el tema del agua y los derechos humanos. La realidad del país exige cuestionarse tanto en lo individual como desde la organización social, pero especialmente desde el papel del Estado y con ello asumir la responsabilidad sobre las políticas gubernamentales hídricas, sociales, ambientales y financieras (Comisión Nacional de los Derechos Humanos & Universidad Nacional Autónoma de México, 2018).

En México, la disponibilidad de agua renovable per cápita se redujo en 2015 a 3 338 m³ /hab/año, cuando en 1950 era de 18 035 m³ /hab/ año; 9,08 millones de habitantes no tienen acceso a agua segura para su salud; 1.5 millones de indígenas no tiene servicio de agua entubada en la vivienda y 3.2 millones carecen de drenaje y, más del 70% de los ríos, lagos y presas está con algún grado de contaminación (Comisión Nacional de los Derechos Humanos & Universidad Nacional Autónoma de México, 2018).

Asimismo, en Colombia, el deficiente manejo de los lixiviados generados en el sitio de disposición final de residuos sólidos de El Carrasco, ubicado en el municipio de Bucaramanga, despertó desde hace algunos años, la preocupación de autoridades ambientales, debido al riesgo de contaminación de los recursos suelo y agua por los

lixiviados generados en la descomposición de los residuos sólidos en áreas de disposición y en áreas clausuradas (Niño et al., 2016).

Por otro lado, desde 2014, en Ecuador existe legislación que intenta preservar y mantener las aguas subterráneas; sin embargo, aún existe una incertidumbre de la población sobre la calidad del recurso hídrico, debido a la insuficiente información sobre el estado actual de los acuíferos de la zona y de las posibles consecuencias ambientales y de salud que se pudieran estar generando en caso de contaminación difusa (Burgos, 2018).

A nivel de Perú, la inadecuada gestión de estos residuos sólidos en las diferentes ciudades, vienen provocando diversos impactos ambientales que afectan a los ecosistemas y poblaciones asentadas en territorios adyacentes a botaderos que se dedican principalmente a actividades productivas de índole agropecuario; en estos botaderos, el proceso de precipitación, descomposición de residuos orgánicos y percolación de lixiviados contaminan principalmente el suelo y los cuerpos de aguas subterráneas (Leonor, 2014).

Asimismo, en Chiclayo, existe un botadero que tiene más de 50 años acumulando residuos sólidos de todo tipo, donde Distritos como José Leonardo Ortiz, la Victoria y el mismo Distrito de Reque botan su basura a cielo abierto sin ningún tratamiento generando contaminación y lixiviados especialmente a los acuíferos y de ahí que diferentes urbanización se vienen asentando y captando agua subterránea para sus pobladores (Hurtado & Baron, 2017).

Mientras que, en la región Puno al igual que en otras regiones, se evidencia un acelerado crecimiento y expansión de las poblaciones urbanas con conducta consumista, la mayoría de ellos sin planificación de desarrollo que van generando problemas por la inadecuada disposición de los residuos sólidos generados en las actividades domésticas (Huamaní et al., 2020).

Fenómeno problemático observado: En este caso concreto, se observó que, el botadero municipal en el Distrito de Muñani posee las siguientes características problemáticas.

Primero, la antigüedad que tiene el botadero es de 6 años aproximadamente. Segundo, la información sobre los procedimientos de disposición y el manejo de los residuos sólidos, que se realiza en el botadero municipal en el distrito de Muñani así como el impacto en la población, se desconocen. Tercero, la presencia de fenómenos aluviales constantes en la zona tiene un impacto directo sobre la potencial generación de grandes cantidades de lixiviados en el botadero. Cuarto, los suelos de la zona caracterizados por ser de formación aluvial, son un problema para la filtración de grandes cantidades de lixiviados que pueda generar los residuos sólidos. Quinto, la presencia de masas de agua oscuras y con mal olor en los alrededores del botadero develaría un posible afloramiento de lixiviados por residuos sólidos. Sexto, la presencia potencial de lixiviados en los acuíferos en la zona sería perjudicial para la calidad de las aguas subterráneas y superficiales que emplea la población para actividades agrícolas y para el consumo humano.

Diagnóstico: Frente a lo observado se podría colegir que, la antigüedad y el desconocimiento del impacto ambiental que genera el botadero municipal; las características climáticas y geográficas de la zona en la que está ubicada el botadero; la presencia de elementos potencialmente contaminantes en las aguas subterráneas y superficiales y, la percepción de preocupación que tienen la población sobre calidad del recurso hídrico que emplean para actividades agrícolas y para el consumo humano son elementos que podrían poner en gran riesgo la integridad de los suelos, el agua y el aire del lugar.

Pronóstico: De continuar con esta situación, la salud de la población se vería gravemente comprometida. Asimismo, las fuentes provenientes de dichas aguas subterráneas que abastecen del recurso hídrico a la población sufrirán daños irreversibles que afectarán las actividades económicas principales como la agricultura, ganadería u otra que requiera del agua. Y, finalmente el ecosistema que rodea el área de influencia del botadero y área poblada del distrito Muñani, provincia de Azángaro, se podría ver afectada a la vez extendiendo los elementos contaminantes por alrededor de la zona, afectando todo rastro de vida que encuentre.

Problemática identificada: La potencial contaminación por lixiviación en aguas subterráneas que abastecen del recurso hídrico a la población del sector Viluyo comunidad Huasacona donde está ubicado el botadero de residuos sólidos municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno; podría generar daños irreversibles en los suelos, el agua y el aire del lugar, que pondrían en riesgo el ecosistema del lugar y la salud de la población.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Qué parámetros físico químicos contaminantes por lixiviados se encontrarán en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023?
- ¿Los parámetros fisicoquímicos por lixiviados en las aguas subterráneas superan los ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023?

1.1.3. Justificación teórica

Teóricamente la investigación se justifica por el problema observado permitirá ampliar y enriquecer los marcos teóricos actuales, contribuyendo así a la literatura científica existente sobre la contaminación de las aguas subterráneas causada por la lixiviados de residuos sólidos en botaderos municipales. Del mismo modo, los resultados de este estudio pueden servir como referencias teóricas para futuras investigaciones que pretendan examinar los fenómenos observados en situaciones comparables utilizando muestras comparables. Además, al comparar los resultados del presente estudio con los de otros estudios nacionales e internacionales, se podrá mejorar el conocimiento existente sobre la contaminación de las aguas subterráneas causada por la lixiviados de residuos sólidos en un botadero municipal.

1.1.4. Justificación metodológica

Esta investigación tiene justificación metodológica ya que su diseño se basa en la metodología previamente empleada por otros autores en relación al tema elegido. De igual forma, el problema identificado será estudiado desde perspectivas previamente recomendadas por otros autores con base en sus respectivos estudios, estableciendo nuevas formas de explorar la contaminación de las aguas subterráneas; sugiriendo dimensiones e indicadores acordes con los atributos específicos del fenómeno a estudiar, y diseñando así los instrumentos de recolección de información. Esto permitirá que futuras investigaciones empleen instrumentos de medición más precisos para investigar las características centrales de la variable especificada.

1.1.5. Justificación práctica

Este estudio de investigación se justifica por práctica, porque los resultados beneficiarán a la municipalidad, a futuras investigaciones y finalmente a la población. Primero, permitirá a la municipalidad tener mayor información sobre el estado en el que se encuentran las aguas subterráneas que pertenecen a los acuíferos situados en el área de influencia del botadero y área poblada del distrito Muñani. De esta manera, podrán diseñar un plan de actuación para gestionar mejor el botadero de residuos sólidos, los lixiviados que se generen y finalmente la calidad del agua que consumen los pobladores. Segundo, permitirá a futuras investigaciones establecer mejores parámetros para el estudio de la contaminación de aguas subterráneas por lixiviados de residuos sólidos en botaderos municipales; teniendo en cuenta las características específicas del lugar de estudio. Por último, permitirá que la población conozca la situación en la que se encuentra el recurso hídrico que emplea para diferentes e importantes actividades económicas en el distrito y también para su consumo. De esta manera se podrá generar conciencia ya que la población estará más informada.

1.2. ANTECEDENTES.

1.2.1. Internacional

Hredoy et al. (2022), en su estudio titulado "Impacts of Landfill Leachate on the Surrounding Environment: A Case Study on Amin Bazar Landfill, Dhaka (Bangladesh)", plantearon como objetivo, estudiar el impacto de los lixiviados de los vertederos de Amin Bazar, Bangladesh. Según los resultados de los parámetros fisicoquímicos, todos los resultados fueron superiores al límite permitido en las muestras de lixiviados. Los metales pesados presentes en las muestras de lixiviados presentan altos niveles de contaminación. Las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo y la vegetación están contaminados como consecuencia de los altos niveles de contaminación por metales. Aunque los valores del Índice de Calidad del Agua de las muestras basados en las concentraciones de metales pesados (loides) estaban dentro del rango aceptable, las concentraciones de metales pesados en el suelo y las plantas eran bastante elevadas. El análisis ponderado de distancia inversa mediante ArcGIS mostró que los lixiviados de vertedero tienen la máxima probabilidad de contaminar el medio ambiente circundante con metales pesados. Los resultados mostraron que las muestras recogidas cerca del vertedero tienen concentraciones más altas de metales pesados que otras, lo que establece la contribución de los lixiviados de vertedero en la contaminación del medio ambiente con metales pesados. La gestión inadecuada de los lixiviados de los vertederos tiene un gran impacto en el medio ambiente.

Liu & Wang (2022), en su estudio titulado "Identification and Assessment of Groundwater and Soil Contamination from an Informal Landfill Site" plantearon como objetivo, identificar y evaluar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas de un vertedero informal. Dado que la contaminación de las aguas subterráneas era en las dos capas, se instalaron doce pozos sumergibles y quince pozos de agua a presión para recolectar las muestras de agua subterránea en el área donde hay dos acuíferos. Usando tecnologías tales como embarcaciones no tripuladas y monitoreo de imágenes de pozos para delinear la cantidad

y distribución de medios contaminantes, el muestreo del suelo circundante, sedimentos, aguas subterráneas y aguas superficiales para pruebas, análisis y evaluación se lleva a cabo visualmente y con precisión para metales pesados, hidrocarburos de petróleo, compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos semivolátiles (COV) y otros indicadores. Los resultados de las pruebas muestran que los fenoles volátiles son las principales especies contaminantes en las aguas subterráneas poco profundas, los hidrocarburos clorados y el benceno predominaron en las aguas subterráneas profundas, el hexaclorobenceno y el plomo en el suelo superficial, y el ftalato de di(2-etilhexilo) en el suelo profundo (5,5 m), con una superación máxima de 1,24 veces. Han pasado casi 10 años desde el incidente del vertido de residuos en el vertedero, pero aún se detectan contaminantes característicos en la capa superior del suelo del área de vertido, lo que demuestra la naturaleza a largo plazo del impacto ambiental del vertido ilegal en el sitio.

Podlasek et al. (2021), en su estudio titulado “Monitoring and Assessment of Groundwater Quality at Landfill Sites: Selected Case Studies of Poland and the Czech Republic” plantearon como objetivo, presentar un análisis comparativo de la calidad del agua subterránea en vertederos seleccionados en Polonia y la República Checa. Sobre la base del período de seguimiento a largo plazo, se reveló, para el vertedero de Polonia, que la calidad del agua subterránea está mejorando con el tiempo, especialmente debido a las obras de remediación aplicadas. Para el vertedero checo, se observó que la calidad del agua subterránea no se ve afectada negativamente por la operación del vertedero, pero en las inmediaciones del vertedero, la calidad del agua subterránea se ve significativamente afectada por el uso agrícola de las tierras vecinas, así como por el almacenamiento de residuos de construcción y demolición. Se concluyó que, el lixiviado no se filtraba fuera de los vertederos, especialmente debido a las concentraciones mínimas de HM, medidas en las muestras de aguas subterráneas, tomadas de los piezómetros situados en la dirección de salida de los vertederos.

Chen et al. (2019) en su estudio titulado “Assessment of Shallow Groundwater Contamination Resulting from a Municipal Solid Waste Landfill—A Case Study in Lianyungang, China”, plantearon como objetivo en su estudio, realizar la evaluación de la contaminación de aguas subterráneas poco profundas como resultado de un vertedero municipal de desechos sólidos: un estudio de caso en Lianyungang, China. Se realizaron múltiples análisis para evaluar las condiciones redox y el entorno del agua subterránea. Los hallazgos del estudio mostraron que el relleno sanitario se encontraba en una fase de biodegradabilidad baja y estable, y la fase más influyente fue la etapa inicial del sitio del relleno sanitario; la fuga de lixiviados fue la principal fuente de contaminación (49,18%) para el medio ambiente subterráneo local. El drenaje artificial de la aldea de Dongdasha amplió el alcance de la pluma contaminante y deterioró aún más la calidad del agua. El área de agua subterránea contaminada estaba provista de altas concentraciones de dureza total, Cl^- , SO_4^{2-} , sólidos disueltos totales (TDS) y Pb.

Ololade et al. (2019) en su estudio titulado “Impact of Leachate from Northern Landfill Site in Bloemfontein on Water and Soil Quality: Implications for Water and Food Security” plantearon como objetivo, investigar los posibles contaminantes y su impacto en las aguas superficiales y subterráneas, y la calidad del suelo, en el vertedero de desechos sólidos del norte en la ciudad de Bloemfontein, Sudáfrica. Se analizaron muestras de suelo, de lixiviado superficial, agua subterránea y agua superficial. Los hallazgos del estudio mostraron que el bajo contenido de metales en las muestras de suelo y agua no representaba una amenaza inmediata para la seguridad alimentaria y del agua. Sin embargo, la mayoría de los otros parámetros estaban por encima del límite permisible del Estándar Nacional Sudafricano 241 (SANS241) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua potable, y la especificación del Departamento de Asuntos Hídricos y Silvicultura (DAAF) para riego, una indicación de que el agua subterránea no era apta para beber, para fines domésticos y de riego.

1.2.2. Nacional

Asenjo (2022) en su estudio "Influencia del botadero "El Cebollar" sobre la calidad de agua del río Socabaya, distrito de Paucarpata Arequipa" planteó como objetivo, determinar la influencia del botadero de residuos sólidos "El Cebollar" sobre la calidad de agua del río Socabaya. La metodología empleada tuvo un diseño no experimental, bajo un enfoque cuantitativo y de nivel descriptivo. Se realizaron visitas de campo, se hizo el modelamiento para la determinación de emisiones gaseosas y se realizó análisis fisicoquímicos en diferentes puntos del río. Se estableció un área para el botadero que corresponde a un total de 3.82 hectáreas, separadas en dos sectores, uno de ellos denominado sector nor este con 3.31 ha y una pendiente aproximada de 19% hacia la quebrada el cebollar; y sector Sur Oeste con un área aproximada de 0.51 ha; se determinó que para el año 2020 se deben haber dispuesto en este botadero un total de 37,841 toneladas; a razón de 10.36 t/día. Dentro de los problemas identificados se estableció la generación de lixiviados, los cuales se estarían produciendo a razón de 6.8 m³ por día; con respecto a la generación de polvo (PM 10), se determinó en base a modelamiento que la emisión resulta significativa hasta los 1600 m de distancia en dirección nor este - sur oeste. Con respecto a la calidad de agua estableció una variación respecto a la presencia del botadero "El Cebollar", de tal manera que valores como la demanda química de oxígeno (DQO), varió desde 21.5 mg/l antes del botadero a 229.6 mg/l después del botadero; para el caso de sólidos totales en suspensión (STS) los valores variaron de 65 mg/l a 168.5 mg/l y en el caso de oxígeno disuelto (OD) los valores variaron de 6.2 mg/l a 1.02 mg/l.

Ñahui y Acosta (2021) en su estudio plantearon como objetivo , evaluar el efecto de la descarga de lixiviado del ex botadero El Edén en el cuerpo de agua adyacente, sector Yauris, distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, 2021. Las muestras tomadas, se caracterizan por ser para ensayos preliminares y muestras para la investigación en cinco oportunidades, todas en temporada de estiaje. Los resultados revelaron que, los ensayos

realizados en la descarga de lixiviado para Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), y Hierro (Fe) superan los Límites Máximos Permisibles, significantes en el nivel del 5 %. Se concluyó que, la descarga de lixiviado del exbotadero El Edén tiene efecto significativo en el cuerpo de agua adyacente, sector Yauris distrito de El Tambo, provincia de Huancayo 2021.

Mulato (2021) en su estudio “Evaluación de la calidad del agua en el área de influencia del ex botadero de residuos sólidos del centro poblado de Pampachacra, distrito de Huancavelica-2021” planteó como objetivo , analizar la calidad del agua en el área de influencia por el ex botadero de residuos sólidos del centro poblado de Pampachacra. Los resultados revelaron que, en 1:A-A1, los parámetros que exceden los Estándares de Calidad Ambiental para Agua son, en primer lugar, la turbiedad, con valor de 18.5; pH, con valor de 9.31; color, con valor de 332. En el segundo punto, pH con valor de 8.78, y color con valor de 63. En el tercer punto, turbiedad con valor de 6.69, color con valor de 219, dureza total con valor de 208 mg/L y coliformes totales con valor de 23000 NMP/100ml. En cuarto punto, turbiedad con valor de 28.7, color con valor de 172; sin embargo, para las categorías 1:A-A2, A3-B-B1, B2, categoría 3:D-D1, D2 los parámetros se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (D. S. N° 004-2017-MINAM). Finalmente, se concluye que existe contaminación del agua en el ex botadero de Pampachacra, pues esta sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental para Agua tanto en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que no es apta para consumo humano.

1.2.3. Local

Velasquez (2021), en su estudio “Evaluación de niveles de contaminación de agua y suelo generados por los lixiviados del botadero de Chilla en Juliaca” planteó como objetivo, evaluar los niveles de contaminación de agua y suelo generados por los lixiviados del botadero de Chilla en Juliaca. Dentro de los resultados obtenidos respecto a los niveles de contaminación del suelo donde, las mayores concentraciones de minerales

encontrados fueron de potasio, cobre, sulfatos, nitratos y cloruros. Respecto a los niveles de contaminación del agua, se determinó que los valores de DBO Y BQO superan en grandes cantidades los niveles del estándar de calidad ambiental, lo cual indica que se produce impacto directo y significativo en el agua subterránea. Con lo que respecta a los niveles de contaminación de lixiviados, los metales pesados tanto cobre, cadmio y cromo se encuentran en concentraciones que sobrepasan el límite máximo permisible, con respecto a la percepción social y ambiental el 76% considera que los pobladores del se encuentran amenazados por la contaminación que genera el botadero. Finalmente se concluyó que, el área de disposición de residuos municipales presenta un riesgo moderado que corresponde a 46.67% para aspectos ambientales y socioeconómicos

Aparicio (2021) en su estudio “Determinación de los factores físicos químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el botadero de Chilla Juliaca” planteó como objetivo , determinar los factores físicos químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el botadero de Chilla, Juliaca. Los resultados de los parámetros fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles: un pH de 7.5, el DBO, DQO, SST exceden al LMP, mientras el Hg está por debajo del LMP (0.1) mientras el As (4.1); Cu (1.044); Fe (305.05); Zn (8.8755) en el primer punto exceden al LMP (0.1); mediante la Correlación de Pearson se tiene una correlación entre el DQO y DBO con 0.998, seguidos de Hg y DBO con 0.997, Hg y DQO con 1.000, As y DBO con 0.999, As y DQO con 0.999, As y Hg con 0.999, Zn y DBO con 1.000, Zn y DQO con 0.999, Zn y Hg con 0.999 finalmente Zn y As con 1.000. El estudio concluyó que, en los 4 puntos de monitoreo existen diferencias en las concentraciones en los parámetros evaluados en el botadero de Chilla.

Carrizales & Panca (2020) plantearon como objetivo en su estudio, evaluar el impacto generado por la disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) sobre el recurso agua y suelo efectuado en enero de 2018. Se ejecutaron mediciones de campo y análisis en laboratorio para establecer las características físico químicos tales como: el punto de muestreo M2 se obtuvo, pH(9,8), conductividad eléctrica(4940 uS/cm), salinidad (70%),

Dureza total (217,8 mg/L), alcalinidad (836 mg/L), (826,56mg/L), (310 mg/L), P (260 mg/L), nitrógeno amoniacal (7,2 mg/L), Fe(0,2 mg/L), DBO5 (260 mg/L), DQO (520 mg/L), SST (240 mg/L), utilizando métodos regulados o validados. Se compararon los resultados con los límites máximos permisibles de la norma peruana y OMS, comprobándose que no se cumple con la normatividad. Los resultados alcanzados en la presente investigación señalan el importante efecto ambiental negativo de los lixiviados creados en el botadero de Puno.

Ramos (2019) en su estudio “Calidad del agua de los Pozos Artesanales Adyacentes al Botadero de Residuos Sólidos de Chilla, Juliaca 2018” planteó como objetivo , determinar la calidad del agua de los pozos artesanales adyacentes al botadero de residuos sólidos de Chilla, Juliaca en 2018. Los resultados de las concentraciones obtenidas de los 15 pozos artesanales se encuentran en el rango de aptos comparando con la normativa peruana de calidad de agua, para el $pH=7.47\pm 0.12$, $C.E.= 1466.80\pm 203.96$, turbidez un valor de 2.86 ± 0.63 , los valores que están en el rango de no aptos son los sólidos disueltos totales= 1061.40 ± 162.38 , cloruros= 286.32 ± 42.22 , sulfatos= 391.23 ± 46.01 , dureza total= 210.16 ± 89.04 , nitratos= 62.65 ± 5.75 , arsénico = 0.038 ± 0.014 y los valores para coliformes termotolerantes= 334.45 ± 216.59 , coliformes totales = 4127.33 ± 1500.68 . Se concluyó que, los valores obtenidos del agua de los pozos artesanales adyacentes al botadero Chilla exceden LMP de la normatividad peruana, por ende, se considera que no son aptas para el consumo del ser humano, por otro lado, de acuerdo a la categorización del botadero de residuos sólidos Chilla este se encuentra en el rango de ALTO RIESGO y a su vez influye negativamente en la calidad de agua de los pozos debido a las altas concentraciones de contaminantes encontradas en el agua.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo general.

Determinar el nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Identificar los parámetros físico químicos contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023.

- Comparar los resultados obtenidos con los parámetros fisicoquímicos por lixiviados en las aguas subterráneas de acuerdo al ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del distrito Muñani, Puno – 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

2.1.1 Contaminación del agua subterránea

El agua subterránea se desplaza a través de los poros del suelo, los sedimentos y las grietas y fracturas del subsuelo. Cuando se desplaza, transporta sustancias químicas disueltas, lo que tiene buenos efectos en los procesos geológicos de larga duración. El agua se contamina con facilidad y transporta materiales peligrosos al subsuelo, y ambas cosas se deben sobre todo a las actividades humanas. Fugas y vertidos de sustancias fabricadas o utilizadas por el hombre (Morales, 2021).

Una vez en el subsuelo, estos compuestos son transportados a las zonas naturales de vertido y a los pozos de los que se extrae agua para consumo humano, riego y fines industriales. El único método para obtener un diagnóstico fiable es perforar pozos y recoger muestras de agua, lo que dificulta la detección de la contaminación de las aguas subterráneas. En la mayoría de las situaciones, los problemas no se reconocen hasta que las aguas subterráneas han aportado toxinas a un manantial, río o pozo que abastece a la población (Morales, 2021).

El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas indica que las aguas subterráneas pueden estar sujetas a una contaminación inaceptable debido a las actividades humanas. Este concepto se ha desarrollado a partir de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas, por lo que es la parte más importante de la evaluación de los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas. Generalmente, los estudios de contaminación de aguas

subterráneas incluyen la comprensión científica de los procesos biológicos, químicos y físicos que controlan el destino y el movimiento de los contaminantes en el medio ambiente subterráneo (Al-Azawi, 2020).

La contaminación de los ecosistemas acuáticos tiene un impacto sustancial en el desarrollo de la agricultura, los municipios y otras fuentes. La amenaza de contaminación de las aguas subterráneas está aumentando debido al rápido aumento de la industrialización y la urbanización. Desde la perspectiva del desarrollo sostenible, los impactos ambientales, económicos y sociales son consecuencias de la contaminación del agua en cualquier región del mundo. Por lo tanto, se debe prestar mucha atención a la preservación de los recursos hídricos (Abd - Elaty et al., 2019).

India es el mayor consumidor de aguas subterráneas del mundo. Utiliza más de una cuarta parte de la cantidad mundial de agua subterránea al año. Del aproximadamente 85% de las fuentes de agua potable que dependen de las aguas subterráneas, aproximadamente el 85% de esos suministros se extraen de aguas subterráneas. Los habitantes de las ciudades dependen cada vez más de las aguas subterráneas, ya que los suministros municipales de agua se han vuelto poco fiables e inadecuados (Ratna et al., 2021).

Las aguas subterráneas son un amortiguador esencial contra la naturaleza impredecible de las lluvias monzónicas. A pesar de que las aguas subterráneas son un recurso valioso, el 29% de los bloques de aguas subterráneas están clasificados como semicríticos, críticos o sobreexplotados, y la situación se deteriora a un ritmo alarmante (Ratna et al., 2021).

La contaminación de aguas subterráneas se produce por la migración de contaminantes hacia los acuíferos, los que alteran las propiedades fisicoquímicas de las aguas, perjudicando su calidad. Por lo general, estos fenómenos de contaminación suelen tener un origen antrópico, es decir, son consecuencia de acciones humanas, aunque también hay causas de origen natural (Aquist Hidrogeológica, 2020).

2.1.2. Afloramiento de lixiviados.

En condiciones típicas, el lixiviado se encuentra cerca del fondo del vertedero, por lo que su movilidad vertical a través de la pila de residuos también es normal. A partir de ahí, su paso en vertederos no gestionados, que carecen de separación en el fondo del vaso, es cuesta abajo a través de los estratos inferiores correspondientes al suelo natural. La naturaleza de esta topografía condiciona la velocidad de flujo vertical; esta naturaleza también puede hacer que el movimiento sea lateral, si existen paquetes granulares en la periferia del vertedero en contacto con la masa de basura (López, 2015).

El afloramiento de lixiviados es entendido como el ascenso de agua con presencia de elementos contaminantes, de niveles más profundos, más fría y rica en sales nutrientes (nitratos, fosfatos y silicatos). Esta agua sustituye al agua superficial, más cálida y generalmente más pobre en nutrientes, que ha sido desplazada por la acción del viento (Instituto Español de Oceanografía, 2018).

El afloramiento, también es denominado surgencia. La surgencia es un proceso oceanográfico que consiste en el desplazamiento ascendente de masas de agua fría y a niveles profundos hacia la superficie del océano. Este fenómeno es inducido por fuertes vientos y por la rotación de la Tierra, ambos provocan que las aguas cálidas y superficiales se desplacen hacia mar abierto permitiendo que las aguas frías y ricas en nutrientes ocupen rápidamente su lugar (Royal Geographical Society, 2020).

Elementos visuales del afloramiento

Los elementos visuales del afloramiento hacen referencia a las características propias del fenómeno. Si se estudia el afloramiento de lixiviados, se observará el inconfundible color pardo-negruzco en las masas líquidas, especialmente en vertederos de residuos no peligrosos con alto porcentaje de materia orgánica (López, 2015).

Ocasionalmente, y en vertederos donde su abandono es reciente, pueden producirse afloramientos puntuales de lixiviados en los taludes del mismo, ocasionados por niveles de baja permeabilidad (tipo arcillas) que hayan sido utilizados para la cubrición de los residuos en las fases de explotación (López, 2015).

En oposición a los lixiviados controlados que se evacúan a través de la red construida para ello y se controlan a través de instrumentos de medición, en un vertedero pueden producirse salidas de lixiviados en otros lugares en forma de: Primero, surgencias de lixiviados en la superficie (perímetro de la masa de residuos, pies de taludes internos, etc). Si estas surgencias son evacuadas lateralmente, sin que los lixiviados se infiltren en el acúmulo de residuos, constituirán salidas absolutas de agua del sistema. Segundo, filtraciones subterráneas hacia el terreno encajante. Y, tercero, fugas en conducciones y depósitos, cuya contabilidad para el balance dependerá del lugar en que se produzcan y del destino posterior de los lixiviados fugados (García de Cortázar et al., 2015).

Elementos químicos del afloramiento

La composición química de los lixiviados varía considerablemente en función de la antigüedad del vertedero y de la existencia del mismo. Algunos de estos compuestos presentan riesgos para la salud, por lo que los lixiviados de los vertederos se consideran desde hace poco un grave peligro medioambiental. Debido a la variabilidad de las características de los lixiviados, el diseño de los sistemas de depuración es complicado (Javahershenas et al., 2022).

Las aguas subterráneas suelen estar expuestas a la contaminación puntual. Los informes indican que el 67% de las personas que se infectan con el agua van al hospital, el 27% padecen síndrome urémico hemolítico y el resto (6%) muere. Para que el agua potable sea segura, hay que tener en cuenta normas primarias y secundarias (Javahershenas et al., 2022).

Los parámetros químicos para estudiar el agua superficial con presencia de lixiviados de un relleno sanitario que recomienda Montalvo & Quispe (2018) son: Cromo Cr+6 mg/l, Cadmio mg/l y Arsénico mg/l.

2.1.3. Lixiviación de residuos sólidos.

Cuando los vertederos se emplazan en lugares hidrogeológicamente inadecuados (sobre materiales muy permeables como rocas fracturadas, aluviales. etc.) el penacho de

contaminación producido por el vertedero puede extenderse hasta puntos muy alejados e incluso puede quedar desconectado del vertedero cuando éste queda en desuso (Instituto Geológico y Minero de España, 1985).

Los lixiviados contienen microorganismos y sustancias orgánicas e inorgánicas como los metales pesados, estos últimos pueden encontrarse disueltos o en mayor proporción formando coloides liofílicos o liofóbicos; pues los lixiviados constituyen un factor de riesgo sanitario, ya que pueden contaminar suelos, aguas superficiales y/o subterráneas (Baun & Christensen, 2004).

Los lixiviados se producen como resultado de la intrusión de agua en los vertederos y la posterior percolación del agua a través de la basura, así como de la compresión de los residuos como resultado de su peso inherente. Durante la lluvia, los residuos sólidos depositados absorben agua, y los subproductos de la descomposición de los residuos se filtran en el agua a través de la deposición de los residuos. El líquido que contiene innumerables compuestos orgánicos e inorgánicos se denomina "lixiviado" (Ratna et al., 2021).

Las causas fundamentales de contaminación del agua subterránea pueden agruparse convencionalmente en cuatro grupos, en relación con el tipo de actividad humana que las produce: Una de ellas es la contaminación urbana y doméstica. A partir de esta, se sabe que, existen dos tipos fundamentales de residuos generados por estas actividades: los residuos sólidos y los residuos líquidos o aguas residuales urbanas (Instituto Geológico y Minero de España, 1985).

Ambos constituyen la amenaza más directa para la calidad de las aguas subterráneas. Los residuos gaseosos tienen en principio una menor incidencia directa sobre las aguas subterráneas a pesar de que en áreas urbanas contaminadas pueden condicionar notablemente la composición del agua de lluvia que constituye la fuente principal de recarga de la mayoría de los acuíferos (Instituto Geológico y Minero de España, 1985).

Excepto en climas áridos, los residuos colocados en vertederos controlados, y en mayor proporción en los no controlados, están sometidos a lixiviación por el agua de lluvia y

otros residuos líquidos. El lixiviado, líquido originado en este proceso, contiene gran cantidad de elementos contaminantes y el total de sólidos disueltos puede ser muy elevado (Instituto Geológico y Minero de España, 1985).

Lixiviados de residuos sólidos en las aguas subterráneas del botadero.

La materia orgánica disuelta juega un papel importante en la migración de metales pesados desde los residuos sólidos municipales a los ambientes acuáticos a través de la ruta de los lixiviados (Wu et al., 2011).

Se puede definir el lixiviado como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión. En la mayoría de los vertederos el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde fuentes externas (drenaje superficial, lluvia, aguas subterráneas, aguas de manantiales subterráneos), y en su caso el líquido producido por la descomposición de los residuos (López, 2015).

En todo el mundo, los vertederos se han destacado como uno de los peligros más importantes para los recursos de aguas subterráneas. Se calcula que más del 90% de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en la India se vierten directamente en la tierra de forma insatisfactoria. Los residuos sólidos depositados en vertederos o en vertederos abiertos están expuestos al flujo subterráneo, a la infiltración inducida por las precipitaciones y a cualquier otra forma de infiltración de agua que pueda producirse (Ratna et al., 2021).

Este lixiviado se acumula en el fondo del vertedero, se filtra a través del suelo y llega a las aguas subterráneas. Los vertederos son especialmente peligrosos para la contaminación de las aguas subterráneas debido a la posible fuente contaminante de lixiviados procedentes del vertedero adyacente. Esto es especialmente cierto en las zonas urbanas. Recientemente se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre los lixiviados de vertedero en las aguas superficiales y subterráneas (Ratna et al., 2021).

Lixiviados de residuos sólidos en el agua que consume la población.

La generación de lixiviados en los rellenos sanitarios y botaderos afecta en forma directa al medio ambiente por sus componentes, de tal manera que la prevención o minimización

de la contaminación es de suma importancia de cada gobierno local, es un peligro latente a la contaminación del agua, suelo y atmósfera más aún a la población circundante (Cotrina, 2016).

Todas las causas de contaminación de las aguas subterráneas, en particular los vertederos municipales de residuos sólidos, desempeñan un papel importante en la contaminación de las reservas de aguas subterráneas en un grado considerable. Debido a su menor contacto con el medio exterior, normalmente se cree que las aguas subterráneas están menos contaminadas que las superficiales cuando se comparan con el agua (Ratna et al., 2021).

Sin embargo, la falta de saneamiento y la gestión inadecuada de los residuos tienen el potencial de degradar la calidad de las aguas subterráneas, lo que se traduce en mayores niveles de contaminación en ellas. Así, se ha informado de que los brotes de enfermedades transmitidas por aguas subterráneas representan alrededor del 40% o quizás más de todos los brotes de enfermedades en todo el mundo (Ratna et al., 2021).

El vertido de residuos sólidos en vertederos no diseñados es muy común en los países en desarrollo. Entre las diferentes desventajas de este tipo de relleno sanitario, el lixiviado es la mayor preocupación para la salud pública, ya que es un subproducto tóxico generado por el relleno sanitario; y puede filtrarse a las aguas subterráneas y, en consecuencia, migrar a las aguas superficiales (Parvin & Tareq, 2021).

Además, durante la temporada de lluvias, el agua que contiene lixiviados del vertedero se drena hacia las tierras bajas cercanas y los cuerpos de agua superficiales y contamina los entornos locales (Hossain et al., 2018).

En la mayoría de los países en desarrollo, los vertederos abiertos mal gestionados son más comunes que los vertederos controlados y manipulados. Los residentes, especialmente los pobres urbanos y semiurbanos de esos países, se ven gravemente afectados por este manejo descontrolado de desechos a través de la contaminación del agua y los alimentos por lixiviados tóxicos (Parvin & Tareq, 2021).

La exposición a los componentes del lixiviado por encima de los límites de tolerancia permisibles podría estar asociada con un exceso de síntomas y enfermedades relacionados con el envenenamiento por bioacumulación de metales, como enfermedades neurológicas, asma, depresión, hemorragia interna, vómitos (Ansah et al., 2020).

2.1.4. Calidad del agua subterránea.

El agua subterránea es una parte indispensable del espacio vital humano y del ciclo hidrológico, proporcionando recursos de agua dulce de alta calidad para los seres humanos. Es importante para uso doméstico, industrial y agrícola a nivel mundial (Li et al., 2022).

Como la fuente de agua más importante para la supervivencia humana, la calidad del agua subterránea es vital para la salud humana. Sin embargo, con el continuo crecimiento de la población y el rápido desarrollo económico, la contaminación de las aguas subterráneas se ha convertido en un problema urgente que pone en peligro la salud pública y ha ejercido presión sobre los recursos de aguas subterráneas en todo el mundo (Li et al., 2022).

Por lo general, en los países en desarrollo, los hogares pequeños y las comunidades pequeñas dependen del agua subterránea, mientras que las comunidades grandes y las áreas urbanas dependen del agua superficial, como ríos y lagos, que en su mayoría se tratan en plantas de tratamiento de agua. La contaminación de estas fuentes de agua las haría insalubres para el consumo y podría ser costosa y difícil de tratar (Ansah et al., 2020).

El vertido de residuos es la práctica de gestión de residuos más utilizada en los países en desarrollo y de bajos ingresos. Los vertederos de residuos afectan la calidad del agua potable de las fuentes de agua superficiales y subterráneas que se encuentran a más de 1 km del vertedero. Las características de calidad física, química, estética y biológica de

las fuentes de agua tienen una gran influencia en la salud y la seguridad de los seres humanos y el medio ambiente (Ansah et al., 2020).

Características de calidad físicas.

Ansah et al. (2020), recomienda evaluar las características físicas de la calidad del agua superficial y subterránea a través de los siguientes indicadores: la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), turbidez (NTU), sólidos disueltos totales TDS (mg/L) y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Algunos de los aspectos de la calidad del agua que están influenciados por la temperatura del agua incluyen olores, reacciones químicas, solubilidad, palatabilidad y viscosidad. Como tal, la demanda biológica de oxígeno, la sedimentación y la cloración dependen de la temperatura del agua. La temperatura ideal del agua oscila entre 50 y 60 grados Fahrenheit (Summers, 2019).

La turbidez es la nubosidad del agua. Es una medida de la capacidad de la luz para atravesar el agua. Es causado por material en suspensión. La turbidez en el agua potable es estéticamente inaceptable, lo que hace que el agua parezca poco apetecible. Asimismo, puede aumentar el costo del tratamiento del agua para varios usos. Y, las partículas pueden proporcionar escondites para microorganismos dañinos y, por lo tanto, protegerlos del proceso de desinfección (Summers, 2019).

Los sólidos disueltos totales (TDS) comprenden sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica que se disuelven en agua. Los constituyentes principales suelen ser los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato y, especialmente en aguas subterráneas, nitrato (de uso agrícola). Niveles más altos de TDS, puede revelar una dureza excesiva, mal sabor, deposición mineral y corrosión. Sin embargo, a niveles bajos, los TDS contribuyen a la palatabilidad del agua (Government of Canada, 2009).

Este es uno de los principales parámetros al medir la calidad del agua debido a lo fácil que es detectar los niveles de contaminación del agua al medir la conductividad del agua. Alta conductividad significa que el agua contiene una gran cantidad de contaminantes.

Por otro lado, el agua potable y el agua ultrapura son prácticamente incapaces de conducir una corriente eléctrica (Summers, 2019).

Características de calidad química.

Ansah et al. (2020), recomienda evaluar las características químicas de la calidad del agua superficial y subterránea a través de los siguientes indicadores: pH, DO (mg/L), Alcalinidad (mg/L), Cloruro (mg/L), Fe (mg/L), TH (mg/L), $Ca_2 +$ (mg/L), Mg^{2+} (mg/L).

El pH es uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua. Hay dos métodos disponibles para la determinación del pH: métodos electrométricos y colorimétricos. Los valores de pH excesivamente altos y bajos pueden ser perjudiciales para el uso del agua. La contaminación puede modificar el pH del agua, lo que puede dañar a los animales y plantas que viven en el agua (Summers, 2019).

El oxígeno disuelto (DO) es un componente clave en el agua potable. Al medir los niveles de DO en el agua potable, le dice a las industrias del agua la calidad del agua, que es vital para el consumo humano. El agua saludable generalmente debe tener concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 6,5-8 mg/L y entre aproximadamente 80-120 % (Atlas Scientific, 2022).

La alcalinidad del agua es su capacidad neutralizadora de ácidos compuesta por el total de todas las bases titulables. La medición de la alcalinidad del agua es necesaria para determinar la cantidad de cal y soda necesaria para ablandar el agua. Los altos niveles de acidez o alcalinidad en el agua pueden ser una indicación de contaminación industrial o química (Summers, 2019).

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

Alcalinidad: La alcalinidad no es una sustancia química en el agua, sino que es una propiedad del agua que depende de la presencia de ciertas sustancias químicas en el agua, como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Es decir, es la capacidad amortiguadora de un cuerpo de agua; una medida de la capacidad del cuerpo de agua para neutralizar ácidos y bases y así mantener un nivel de pH bastante estable (Water Science School, 2018a).

Botadero a cielo abierto: Área de disposición final de residuos sólidos sin control y sin la adopción de medidas para la prevención y mitigación de los impactos ambientales y sanitarios (erosión, sedimentación, generación de gases y lixiviados, incendios, malos olores, insectos y roedores) (Orihuela, 2018).

Botadero controlado: En esta modalidad de disposición de los residuos sólidos, ya existe un mínimo de presencia institucional en el diseño, operación y control de estos lugares. Es decir, que son lugares donde se tiene un mínimo de infraestructura que, sin llegar al nivel de un Relleno Sanitario, ya se dan las condiciones mínimas de operación para que los residuos (Orihuela, 2018).

Canales: Un canal es un ancho estrecho o vía fluvial entre dos masas de tierra que se encuentran cerca una de la otra. Los canales son siempre artificiales, lo cual quiere decir que son creados por el hombre a partir de reglas de hidrología o de ingeniería. Mientras algunos canales controlan o dirigen cursos de agua ya existentes, otros canales hacen que el agua siga su curso por espacios en los que antes no había agua, a partir del cavado de surcos y de la apertura de espacios físicos para que el agua desvíe su curso natural (Stanley, 2018; Geoenciclopedia, 2022).

Carbono orgánico total (COT): es la cantidad de carbono unido a los compuestos orgánicos transportados por el agua y es otro indicador no específico de la calidad del agua que a menudo se usa como alternativa a las mediciones de DQO o DBO (Orellana et al., 2011).

Compuestos Orgánicos Halogenados (AOX): Los compuestos orgánicos halogenados son sustancias que contienen carbono e hidrógeno, pero donde uno o más átomos de hidrógeno han sido reemplazados por un halógeno: cloro, bromo, flúor o yodo. AOX es la abreviatura de "haluros orgánicos adsorbibles" y es una medida de la presencia recolectada de todos los halógenos unidos orgánicamente en una muestra (Natur Vards Verket, 2020).

Compuestos orgánicos volátiles (BTEX): es un acrónimo que significa benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. Estos productos químicos son compuestos orgánicos volátiles

(COV), que son compuestos naturales y artificiales que aparecen como gases o vapores a temperatura ambiente. BTEX se encuentra en productos derivados del petróleo como la gasolina, la calefacción doméstica y el combustible diesel. Este es considerado uno de los contaminantes más comunes de las aguas subterráneas (Ballotpedia, 2020).

Conductividad: La capacidad de un material para permitir el paso de fluidos a través de él, expresada como la tasa de flujo volumétrico de agua a través de un área transversal de un medio poroso (ver porosidad; permeabilidad) bajo la influencia de un gradiente hidráulico de unidad a una temperatura específica. Esto depende de las propiedades del fluido y del medio. Se mide en unidades de metros por segundo o metros por día y varía con la temperatura (Oxford University, 2023).

Cunetas: El término cuneta se refiere a la zanja construida a los lados de una carretera o autopista para recoger las precipitaciones. Al recoger el agua y desviarla a un lugar donde no cause problemas, estos canales evitan la inundación de las carreteras. Es esencial darse cuenta de que las cunetas deben colocarse a los lados de las carreteras para mitigar en cierta medida su efecto medioambiental (Pérez & Gardey, 2017).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): Representa la cantidad de oxígeno que consumen las bacterias y otros microorganismos mientras descomponen la materia orgánica en condiciones aeróbicas (hay oxígeno presente) a una temperatura específica. La presencia de una concentración suficiente de oxígeno disuelto es fundamental para mantener la vida acuática y la calidad estética de los arroyos y lagos (Water Science School, 2018b).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es una medida del equivalente de oxígeno de la materia orgánica en una muestra de agua que es susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. La DQO es ampliamente utilizada como medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua y en los desechos municipales e industriales (Jain & Singh, 2003).

Fenoles: Los fenoles son similares a los alcoholes pero forman enlaces de hidrógeno más fuertes. Por lo tanto, son más solubles en agua que los alcoholes y tienen puntos de

ebullición más altos . Los fenoles se presentan como líquidos incoloros o sólidos blancos a temperatura ambiente y pueden ser altamente tóxicos y cáusticos (Wade, 2018).

Filtraciones laterales: La filtración se puede definir como la infiltración hacia abajo y el movimiento lateral del agua en el suelo desde una fuente de agua como un embalse o un canal de riego. Dicha agua puede reaparecer, dependiendo de los contornos topográficos y del aumento del nivel freático debido a la filtración (Fluence, 2020).

Filtraciones subterráneas: A medida que se agota el agua subterránea, el agua reciclada puede reintroducirse en los acuíferos mediante la percolación del suelo. Normalmente, el agua se filtra a través del suelo y la capa de limo hasta que alcanza la roca sólida, momento en el que deja de moverse y queda atrapada en un acuífero. Muchos factores del suelo influyen en la velocidad de percolación del agua. Entre ellos están la porosidad del suelo y lo saturado que pueda estar de agua (Fluence, 2020).

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs o PAHs): Son una clase de sustancias químicas que se encuentran naturalmente en el carbón, el petróleo crudo y la gasolina. Son el resultado de la quema de carbón, petróleo, gas, madera, basura y tabaco. Los PAH pueden unirse o formar pequeñas partículas en el aire (Centers for Disease Control and Prevention, 2022).

Regueros: Grieta o incisión pequeña que las lluvias o los escurrimientos de agua localizadas producen mediante erosión en la superficie de los suelos, especialmente en los formados por materiales blandos e impermeables. Las aguas de escorrentía y arroyadas van generando hendiduras quedando reflejadas en la superficie (IES Fray Pedro de Urbina, 2019).

Talud: Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. Los taludes pueden ser naturales o artificiales. Al primer tipo de talud se le denomina también laderas, formados por la naturaleza a través del tiempo sin la injerencia del hombre. Al segundo tipo se le denomina talud debido a que se tiene la intervención del hombre para su construcción (Gidahatari, 2021).

TDS: es la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua. Es clasificado como un contaminante secundario por la Agencia de Protección Ambiental de los EU (USEPA) y se sugiere un máximo de 500 mg/L en agua potable (Sigler & Bauder, 2020).

Turbidez: La turbidez es la medida de la claridad relativa de un líquido. Es una característica óptica del agua y es una medida de la cantidad de luz que es dispersada por el material en el agua cuando se hace brillar una luz a través de la muestra de agua. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez. El material que hace que el agua se vuelva turbia incluye arcilla, limo, materia inorgánica y orgánica muy pequeña, algas, compuestos orgánicos coloreados disueltos y plancton y otros organismos microscópicos (Water Science School, 2018c).

Vertedero: Un vertedero es un lugar de disposición de residuos que fue planificado para ese uso, pero que no cuenta con las medidas sanitarias básicas establecidas por la normatividad respectiva. Por esta razón, mantiene la característica de ser un foco de problemas ambientales y de salubridad (Orihuela, 2018).

2.3. MARCO LEGAL.

2.3.1. Botadero municipal.

Un botadero municipal, es un “lugar de disposición ilegal de la basura que impactan negativamente y generan focos infecciosos para la salud de las personas y el ambiente” (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2016, párr.2).

El marco legal asociado al control de botaderos municipales está descrito en la Ley N° 273140, denominada Ley General de Residuos Sólidos. Esta ley establece los derechos, deberes, facultades y responsabilidades de la sociedad en su conjunto para garantizar el manejo y disposición sanitaria y ambientalmente adecuada de los residuos sólidos, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de las personas (Ley General de Residuos Sólidos, 2000).

Según lo señalado en la sexta disposición Complementaria de la presente Ley denominada “Planes provinciales de gestión integral de residuos sólidos”; las municipalidades provinciales deben aprobará y publicar en un plazo no mayor de un año contado a partir de la publicación de la presente Ley, sus Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, los cuales deben incluir la erradicación de los botaderos existentes o su adecuación establecida en la presente Ley (Ley General de Residuos Sólidos, 2000).

Asimismo, según decreto legislativo N° 1278 publicado en el diario oficial El Peruano, es de conocimiento público que en su Artículo 36.- Almacenamiento se señala lo siguiente: Con el fin de prevenir riesgos para la salud humana y el medio ambiente, los residuos municipales y no municipales se almacenan en áreas separadas, teniendo en cuenta sus características físicas, químicas y biológicas, así como sus propiedades peligrosas, incompatibilidad con otros residuos y posibles reacciones con el material del contenedor. El almacenamiento de la basura municipal y no municipal debe ajustarse a la Norma Técnica Peruana 900.058:2005 "GESTIÓN AMBIENTAL" (Diario Oficial El Peruano, 2016).

Mientras que, Artículo 44.- Prohibición de disposición final de residuos en lugares no autorizados del presente decreto legislativo sostiene lo siguiente: Está prohibido el abandono, vertido o disposición de residuos en lugares no autorizados por la autoridad competente o aquellos establecidos por Ley. Los lugares de disposición final inapropiada de residuos sólidos identificados como botaderos, deben ser clausurados por la municipalidad provincial en coordinación con la municipalidad distrital respectiva (Diario Oficial El Peruano, 2016).

Por último, los botaderos deben abordarse porque contaminan el medio ambiente y constituyen un problema sanitario. Un botadero puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire; también emite olores y es un caldo de cultivo para insectos y roedores portadores de enfermedades (Consejo Nacional del Ambiente et al., 2004).

2.3.2. Contaminación de aguas subterráneas.

El marco legal relacionado con la contaminación de aguas subterráneas está descrito en la Ley N° 29338, denominada Ley de Recursos Hídricos. Esta legislación controla la utilización y administración de los recursos hídricos. Comprende las aguas superficiales, las aguas subterráneas, las aguas continentales y los bienes conexos. Abarca tanto las aguas oceánicas como las atmosféricas, en su caso (Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Esta ley, en su artículo 120 señala que, constituye una infracción contaminar el agua subterránea por infiltración de elementos o sustancias en los suelos (Ley de Recursos Hídricos, 2009).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

El nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023 es alto.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- Se registran un nivel alto de parámetro físico químicos contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023
- Los parámetros físico químicos de contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas superan los ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

En el distrito de Muñani, la disposición de los residuos sólidos se realizó en un botadero municipal que tiene un tiempo de funcionamiento de 6 años. El deficiente manejo de residuos sólidos municipales en el área de influencia del sitio de disposición final “botadero de Muñani”, despierta la preocupación de los ambientalistas, debido a los riesgos de contaminación de suelo y aguas subterráneas que afectan directa e indirectamente a las poblaciones asentadas en las zonas adyacentes.

La población rural ubicada en esta zona de disposición final, realiza actividades productivas de índole agropecuario y muchos de ellos consumen agua de manantial, río y de pozos con agua subterránea, quienes no solamente son afectadas con los malos olores, proliferación de insectos y roedores, sino también por desplazamiento de plásticos, papel y otros residuos por los fuertes vientos que se registran en el lugar.

El botadero a tajo abierto está ubicado en el lugar llamado Viluyo de la comunidad de Huasacona, distrito Muñani, provincia de Azángaro y región Puno; cuya ubicación geográfica es: altitud 3960 msnm, latitud sur 14°44'06"S y longitud oeste 69°55'02"W. La actividad principal de sustento económico y alimentario de las familias en el lugar es, la crianza de animales domésticos como: ovinos, alpacas y vacunos; también en zonas alejadas existen cultivos como: papa, quinua, cañihua y avena forrajera.



Figura 01: Área de influencia del distrito de Muñani

Fuente: Google Earth Pro



Figura 02: Área de influencia del botadero municipal en el distrito de Muñani.

Fuente: Google Earth Pro

Georeferencia del área de influencia del botadero y área poblada del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno (VER ANEXO 3).

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 Población

Para la presente investigación, la población de estudio estuvo conformada por aguas subterráneas situadas en los acuíferos del valle Ramis del área de influencia directa del

botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023. La población es entendida como un conjunto de personas, animales, cosas, entre otros; que poseen características similares y están asociados a un espacio-tiempo (contexto) determinado (Hernández & Mendoza, 2018).

3.2.1. Muestra

La muestra, es entendida como un subconjunto limitado de estudio que pertenece a la población (Hernández & Mendoza, 2018). Por eso, en la presente investigación científica se estableció que la muestra de estudio, estuvo conformada por 03 cuerpos de agua subterráneas contenidos en los acuíferos del valle Ramis del área de influencia del botadero municipal y la zona poblada del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023. Los 03 cuerpos de agua se encuentran ubicados en el área de influencia del botadero municipal del Distrito de Muñani.

3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS

3.3.1. Tipo de Investigación

En el presente estudio, se empleó el tipo de investigación científica básica, porque se buscó únicamente una mejor y más detallada comprensión del fenómeno problemático observado y de la realidad problemática identificada. Este tipo de investigación da como resultado la adquisición de nuevos conocimientos y también expansión de los conocimientos científicos existentes en un campo de estudio determinado; en este caso, la Ingeniería Ambiental (Bentley et al., 2015).

3.3.2. Diseño de Investigación

En el presente estudio, se empleó el enfoque de investigación científica cuantitativo, porque los instrumentos para recolectar información y los métodos para analizar los resultados —*esencialmente cuantitativos*— sobre el problema identificado fueron estadísticos (Hernández & Mendoza, 2018).

Asimismo, el diseño que se empleó en el presente estudio fue el no experimental de corte transversal. Se escogió la investigación no experimental, porque esta se caracteriza por

la ausencia de manipulación y control de las variables, así como la ausencia de manipulación y control de la muestra. Es decir, el estudio estuvo orientado a la recopilación de datos que serán analizados a fondo, limitándose únicamente observar el desarrollo de los acontecimientos del mundo real y describirlos detalladamente para brindar una explicación más precisa del fenómeno problemático observado y de la realidad problemática identificada (Hernández & Mendoza, 2018). Y, se estableció que la recolección de la información será de corte transversal, puesto que esta se dará en un momento único en el tiempo (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3.3. Método

El método de investigación que se empleó en el presente trabajo de investigación fue el Hipotético — deductivo. Este método consiste en que, a partir de la observación de un fenómeno en concreto y la identificación de un problema en específico, se establece un conjunto de respuestas provisionales a las preguntas de investigación; es decir hipótesis; las cuales son corroboradas a partir de procedimientos lógico-deductivos (Hernández & Mendoza, 2018). En este caso concreto se establecieron hipótesis descriptivas; es decir, “proposiciones del valor de las variables que se va a observar en un contexto o en la expresión de otra variable” (Luis, 2012, p. 190).

3.3.4. Técnicas de recolección de datos

Se emplearon las siguientes técnicas para recolectar información acerca del fenómeno observado y la problemática identificada.

- Observación directa: técnica que permite recolectar información específica sobre un fenómeno en concreto en un contexto determinado.
- Recolección: técnicas que permiten extraer las muestras que serán analizadas en laboratorio.
- Clasificación: técnica que permite organizar la información para poder sistematizarla.

3.3.5. Instrumentos de recolección de datos

Se emplearon los siguientes instrumentos para recolectar información acerca del fenómeno observado y la problemática identificada.

- Guía de observación de campo: instrumento que permitirá sistematizar los datos que provengan de la observación realizada en campo. Es decir, la caracterización precisa del fenómeno observado mediante su descripción.
- Cámara fotográfica: instrumento para la recolección de evidencia visual.
- Instrumentos para recolección de muestras de agua: Instrumentos específicos de ingeniería para recolectar muestras, realizar mediciones del lugar de estudio y analizar las muestras.
- Ficha de recolección de datos cuantitativos: Este instrumento permitirá sistematizar los resultados que provengan de los análisis en laboratorio realizados a las diferentes muestras.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIONES	VALORES	ESCALA
Variable independiente: Parámetro de los lixiviados	Afloramiento de lixiviados	Existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el perímetro de la masa de residuos	
		Existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el pie del talud interno	
		Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en las cunetas de la zona	
		Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor que se evacúan lateralmente como flujo superficial	PARÁMETRO DE OBSERVACIÓN DE LIXIVIADOS
		Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en los canales de la zona	(García de Cortázar et al., 2015).
		Presencia de decoloraciones, manchas y huellas de regueros en el perímetro del botadero	
		Existencia de una impermeabilización de fondo	1 [SI] / 2 [NO]
		Existencia de una red de drenaje subsuperficial	
		Existencia de afección en los pozos de control del exterior del vaso	
		Existencia de un programa y registros del mantenimiento del botadero	
		Existencia de un sistema de evacuación de lixiviados.	

VARIABLE	DIMENSIONES	VALORES	ESCALA
	Materia orgánica disuelta	Carbono orgánico total (COT)	ECA-MINAM-2012
	Compuestos inorgánicos	K ⁺ (mg/L) Amoníaco - N-NH ₃ (mg/L) Sulfatos - SO ₄ ²⁻ (mg/L) Na ⁺ (mg/L)	ECA-MINAM-2012
	Metales pesados	Cr (mg/L) Hg (mg/L)	ECA-MINAM-2012
Variable dependiente: Contaminación del agua subterránea	Características físicas	Distancia desde botadero (Km) Temperatura (°C) Turbidez (NTU) Conductividad (µS/cm)	ECA-MINAM-2012
	Características químicas	Distancia desde botadero (Km) pH Alcalinidad (mg/L) Cloruro (mg/L)	ECA-MINAM-2012

Fuente: Elaboración propia con base en (Jones & Lee, 1993); (Carabali, 2013); (García de Cortázar et al., 2015); (Reyes, 2015); (Montalvo & Quispe, 2018); (Ansah et al., 2020); (Lindamulla et al., 2022) y (Gamboa, 2023).

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El alcance del presente estudio de investigación científica fue descriptivo, porque se buscó describir las características y particularidades más importantes del fenómeno problemático observado; recolectando datos que expresan los distintos aspectos del problema identificado, asociado a una muestra específica, en un espacio tiempo específico (Hernández & Mendoza, 2018).

3.5.1. Procedimientos de recolección y análisis de datos

Para la recolección de los datos se emplearon los siguientes procedimientos:

- Determinación de los puntos de referencia para la recolección de las muestras.
- Recolección de la muestra de agua subterránea según procedimientos de ingeniería.
- Recolección de datos descriptivos y visuales según guía de campo.
- Envío de las muestras al laboratorio para los análisis correspondientes.
- Clasificación y sistematización de los resultados de laboratorio empleando la ficha de recolección de datos cuantitativos.

Para el analizar los datos se emplearon los siguientes procedimientos:

- Análisis físico-químico de las muestras en el laboratorio.
- Interpretación de la evidencia descriptiva y visual.
- Análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos en laboratorio al analizar las muestras recolectadas; a través de gráficos y tablas.

3.5.2. Estrategias por cada objetivo específico.

Tabla 01: Estrategias por cada objetivo específico de investigación

N°	OBJETIVOS	DESCRIPCIÓN
1	<p>Objetivo Específico 01: Identificar los parámetros físico químicos contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023</p>	<p>Para determinar el primer objetivo se seguirá la siguiente estrategia: Primero, en el área del botadero se identificará el punto en el cual se extraerá la muestra de agua subterránea. Segundo, una vez definido este punto se procederá a registrar su ubicación geográfica en el mapa con GPS. Tercero, se realizará una calicata hasta alcanzar el nivel freático para extraer la muestra. Cuarto, se recolectó la muestra de agua empleando cuidadosamente los procedimientos correspondientes y, se llevó la muestra al laboratorio para los análisis de las características físicas y químicas. Quinto, se sistematiza la información hallada en laboratorio empleando la ficha de recolección de datos cuantitativos, para finalmente someterla a una interpretación que permita cumplir el objetivo de investigación.</p>
2	<p>Objetivo Específico 02: Comparar los resultados obtenidos con los parámetros fisicoquímicos por lixiviados en las aguas subterráneas de acuerdo al ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del distrito Muñani, Puno – 20233</p>	<p>Para determinar el segundo objetivo se seguirá la siguiente estrategia: Primero, en el área del botadero se identificará el punto en el cual se extraerá la muestra de agua subterránea. Segundo, una vez definido este punto se procederá a registrar su ubicación geográfica en el mapa con GPS. Tercero, se realizará una calicata hasta alcanzar el nivel freático para extraer la muestra. Cuarto, se recolectó la muestra de agua empleando cuidadosamente los procedimientos correspondientes y, se llevó la muestra al laboratorio para los análisis de las características físicas y químicas. Quinto, se sistematiza la información hallada en laboratorio empleando la ficha de recolección de datos cuantitativos. Sexto, se comparará los resultados obtenidos con los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas ECA de acuerdo al DS ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal.</p>

3.5.3. Materiales

Los materiales que se utilizan en la investigación son:

- GPS, Pala, pico, baldes.
- Frascos de vidrio transparente (winkler)
- Bolsas de polietileno
- Etiqueta y plumón indeleble
- Termómetro
- Espectrofotómetro
- Potenciómetro y Cooler

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. AFLORAMIENTO DE LIXIVIADOS

4.1.1. Infiltraciones laterales



Figura 03: Afloramiento de Lixiviados en el perímetro del botadero

Nota. Ver Anexo 02

Con respecto a las infiltraciones laterales; en primer lugar, en la figura 3 se presencia la existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el perímetro del botadero.

Esto es un indicio de que se están produciendo procesos de descomposición de los residuos depositados y su interacción con el medio ambiente. Estas masas líquidas, conocidas como lixiviados, se generan como resultado de la filtración del agua a través de los residuos orgánicos y otros materiales presentes en el botadero (Hossain et al., 2018).



Figura 04: Afloramiento de Lixiviados en el pie del talud interno del botadero

Nota. Ver Anexo 02

En segundo lugar, en la figura 4 se observó la existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el pie del talud interno del botadero.

El talud interno del botadero es la superficie inclinada que se encuentra dentro del área de disposición de residuos. Cuando los lixiviados se infiltran en los residuos, tienden a fluir hacia abajo debido a la gravedad. Si el sistema de recolección y drenaje de los lixiviados no es efectivo, es posible que se acumulen en el pie del talud interno (García de Cortázar et al., 2015).

La presencia de estas masas líquidas, en el pie del talud interno conlleva diversos problemas y riesgos, tales como la inestabilidad del talud; debido a que, la acumulación de lixiviados puede comprometer la estabilidad de la estructura. El exceso de líquido puede aumentar la presión hidrostática en el talud, debilitándolo y aumentando el riesgo de deslizamientos o colapsos en cualquier momento (López, 2015).

En tercer lugar, no hay registros visuales de circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en las cunetas de los alrededores del botadero; porque no hay presencia de estas en el perímetro.

Las cunetas son una medida de control importante en la gestión de un botadero, ya que contribuyen a minimizar los impactos ambientales negativos, como la contaminación del agua y la propagación de residuos. Por ello, es recomendable tener cunetas en los alrededores de un botadero como parte de las medidas de gestión ambiental adecuada (García de Cortázar et al., 2015).



Figura 05: Afloramiento de Lixiviados laterales como flujo superficial del botadero

Nota. Ver Anexo 02

En cuarto lugar, en la figura 5 se presencia la circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor que se evacúan lateralmente como flujo superficial.

Si el botadero no cuenta con un sistema adecuado para recolectar y drenar los lixiviados, estos pueden acumularse y fluir lateralmente en forma de flujo superficial. Esto puede ocurrir debido a la falta de cunetas, canales o sistemas de tuberías para capturar y redirigir los líquidos hacia un sistema de tratamiento adecuado (García de Cortázar et al., 2015).

En quinto lugar, no hay registros visuales de circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en los canales de los alrededores del botadero; porque no hay presencia de estos en el perímetro.

Los canales son estructuras diseñadas para canalizar y controlar el flujo de agua en el área circundante del botadero, especialmente durante eventos de lluvia. Estos son

elementos importantes en la gestión de un botadero, ya que ayudan a controlar el flujo de agua, prevenir la erosión, gestionar las aguas pluviales y evitar la propagación de lixiviados (López, 2015).



Figura 06: Afloramiento de Lixiviados en regueros cerca al botadero

Nota. Ver Anexo 02

En sexto lugar, en la figura 6 se registra la existencia de decoloraciones, manchas y huellas en los regueros ubicados en el perímetro del botadero.

Los regueros pueden transportar lixiviados generados por la descomposición de residuos en el botadero, así como sedimentos y suelos erosionados del área circundante del botadero. Cuando estas fluyen por los regueros, pueden dejar manchas y huellas en

forma de decoloraciones debido a la presencia de sustancias tóxicas (García de Cortázar et al., 2015).

4.1.2. Infiltraciones subterráneas



Figura 07: Inexistencia de impermeabilización en el botadero

Nota. Ver Anexo 02

Con respecto a las infiltraciones subterráneas; en primer lugar, en la figura 7 se observó la inexistencia de una adecuada impermeabilización del fondo del botadero.

La impermeabilización en el fondo del botadero es esencial para prevenir la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, controlar la generación de lixiviados y reducir la formación de gases (Aparicio, 2021). Es preciso señalar que la elección de los materiales de impermeabilización y su correcta instalación son fundamentales para

garantizar su eficacia y durabilidad (García de Cortázar et al., 2015). Entre los materiales más utilizados se encuentran las geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD), la arcilla bentonítica, los geosintéticos y los sistemas de drenaje. Además, es necesario un seguimiento constante de la impermeabilización para detectar cualquier deterioro o daño y realizar las reparaciones necesarias (Spooner, 2020).



Figura 08: Inexistencia de una red de drenaje subsuperficial

Nota. Ver Anexo 02

En segundo lugar, en la figura 8 se observó la inexistencia de una red de drenaje subsuperficial en el botadero.

Una red de drenaje subsuperficial es una parte importante de la infraestructura de un botadero, ya que ayuda a recolectar y drenar los lixiviados de manera controlada, previniendo la acumulación de masas líquidas y minimizando los riesgos ambientales asociados con la gestión de residuos (López, 2015). Mediante la recogida y el drenaje controlados de los lixiviados se evita la formación de masas líquidas en el vertedero. Esto es especialmente importante para evitar la escorrentía superficial de lixiviados y su propagación fuera de la zona designada para el vertedero (Liu & Wang, 2022).

Es conveniente señalar que el diseño y la instalación de una red de drenaje subsuperficial deben correr a cargo de profesionales con experiencia en la gestión de residuos. Esto garantizará un funcionamiento eficiente y eficaz del sistema de drenaje y minimizará los impactos ambientales negativos (García de Cortázar et al., 2015).

En tercer lugar, no hay registros visuales de pozos de control del exterior del vaso, en el botadero de estudio, como parte de las medidas de monitoreo y control ambiental.

Los pozos de control son perforaciones o estructuras excavadas en el suelo que se colocan en áreas estratégicas alrededor del botadero para medir y evaluar los posibles impactos del botadero en el medio ambiente, especialmente en las aguas subterráneas. (García de Cortázar et al., 2015). Es importante tener en cuenta que la ubicación y el número de pozos de control pueden variar según las regulaciones y requisitos locales, así como las características específicas del sitio del botadero (Spooner, 2020).

En cuarto lugar, no se observó la existencia de un programa o registro del mantenimiento del botadero, puesto que este es informal.

Sin embargo, es imprescindible que la gestión de un botadero, aunque sea informal y gestionado por la Municipalidad, siga las buenas prácticas y normas reconocidas internacionalmente para minimizar los riesgos y maximizar la protección del medio ambiente y la salud pública (Aparicio, 2021). La carencia de un programa de mantenimiento provoca condiciones inseguras y riesgos para la salud y el medio ambiente. Sin una gestión adecuada, los lixiviados pueden filtrarse al suelo y a las aguas

subterráneas, contaminando los recursos hídricos y suponiendo un riesgo para la salud pública (Liu & Wang, 2022).



Figura 09: Inexistencia del sistema de evacuación de lixiviados.

Nota. Ver Anexo 02

Por último, en la figura 9 se observó que, el botadero no cuenta con la existencia de sistema de evacuación de lixiviados, ocasionando su acumulación excesiva, contaminando el suelo y el agua y desestabilizando las estructuras del botadero aumentando el riesgo de deslizamientos de tierra o colapsos. En ese sentido, es fundamental destacar que los botaderos, especialmente aquellos que aún están en operación, deben cumplir con las regulaciones y normativas ambientales y sanitarias vigentes para minimizar los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente (García de Cortázar et al., 2015).

4.2. PARÁMETRO DE LOS LIXIVIADOS

4.2.1. Parámetros físicos del agua

Tabla 02: Características físicas del agua subterránea cerca del botadero

	Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*
Distancia desde botadero (m)	116.53 m	22.56 m	187.46 m
Temperatura (°C)	10	10	10
Turbidez (NTU)	SD	SD	SD
Conductividad (μS/cm)	121.2	120.6	116.7

Nota. elaboración propia con base en resultados de laboratorio (Ver Anexo 4). *Valores reales.

SD: Sin determinar

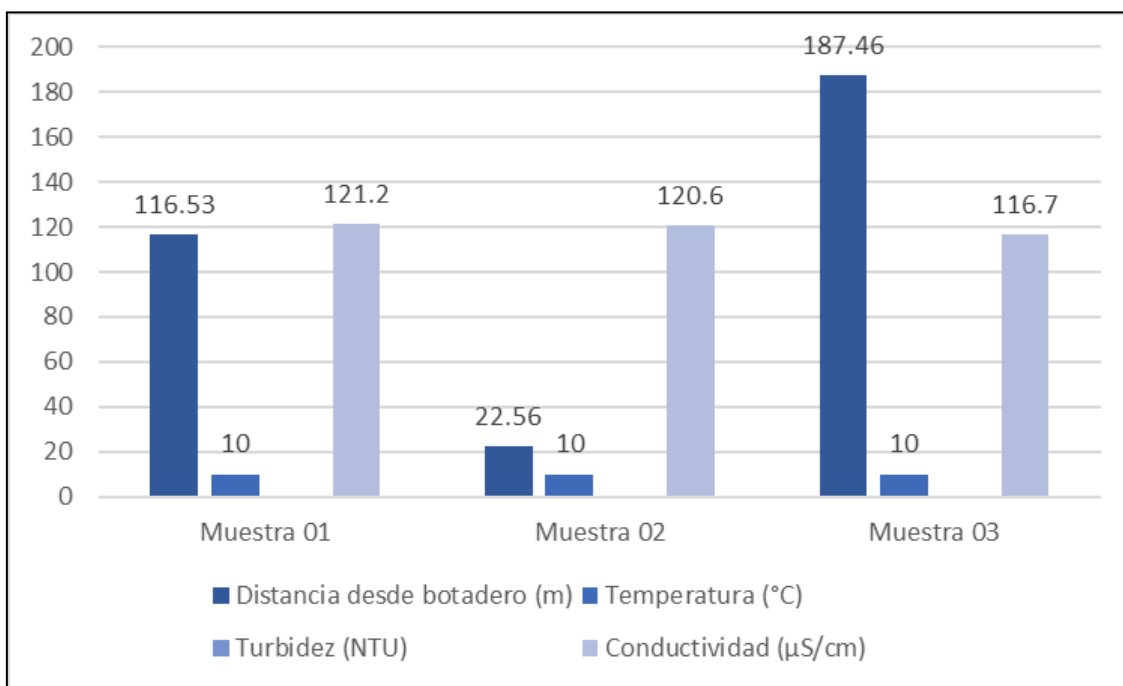


Figura 10: Gráfico de barras de las características físicas del agua subterránea

Nota. elaboración propia con base en resultados de laboratorio (Ver Anexo 4).

En la tabla 2 y figura 10 se observó que, para las 03 muestras de agua subterránea, la temperatura promedio registrada fue de 10°C; mientras que, la conductividad registrada fue de 121.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 120.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 116.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

4.2.2. Parámetros químicos del agua

Tabla 03: Características químicas del agua subterránea del botadero

	Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*
Distancia desde botadero (m)	116.53	22.56	187.46
pH	7.65	7.62	7.52
Alcalinidad (mg/L)	169.33	215.00	144.9
Cloruro (mg/L)	35.46	24.82	17.73

Nota. elaboración propia con base en resultados de laboratorio (Ver Anexo 4). *Valores reales.

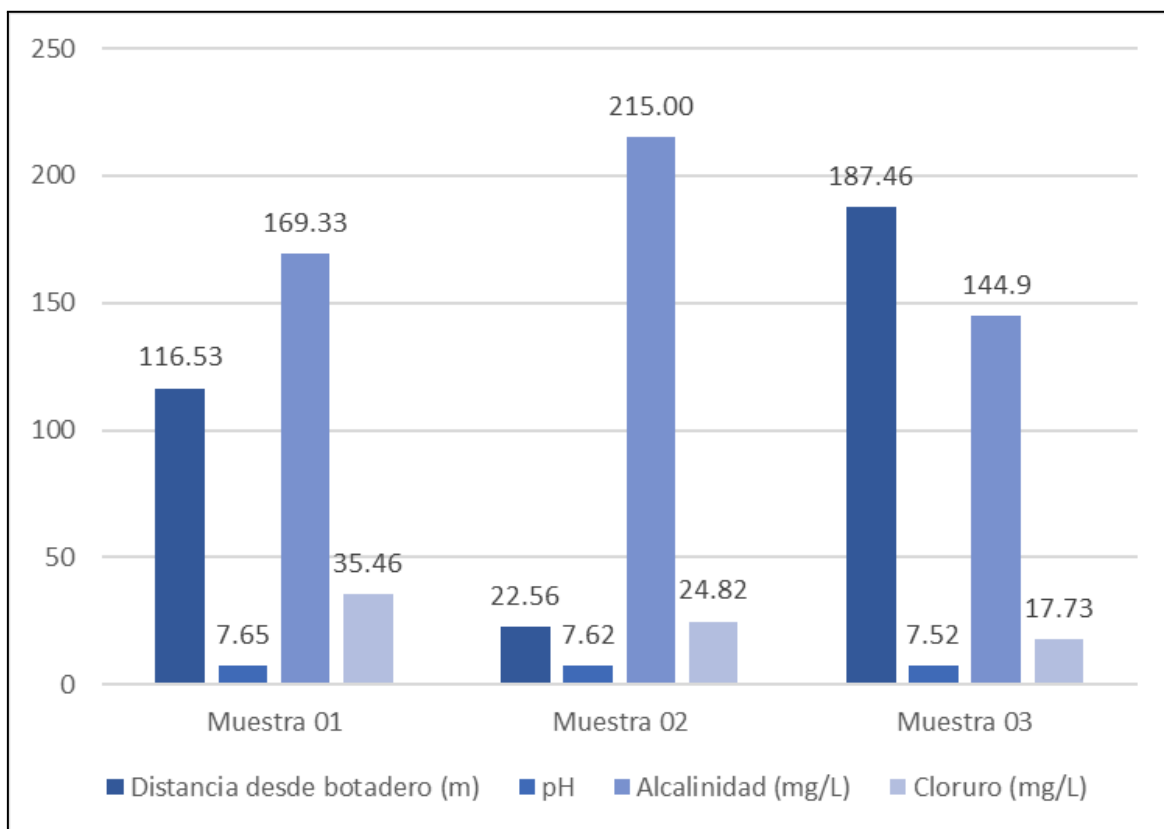


Figura 11: Gráfico de barras de las características químicas del agua subterránea

Nota. elaboración propia con base en resultados de laboratorio (Ver Anexo 4).

En la tabla 3 y figura 11 se observó que, para las 03 muestras de agua subterránea, los niveles de pH registrados fueron 7.65, 7.62 y 7.52, respectivamente. Asimismo, los niveles de Alcalinidad registrados fueron 169.33 mg/L, 215.00 mg/L y 144.9 mg/L, respectivamente. Y, finalmente, los niveles de Cloruro registrados fueron 35.46 mg/L, 24.82 mg/L y 17.73 mg/L, respectivamente.

4.2.3. Concentración de Lixiviados de residuos sólidos

Tabla 04: Lixiviados de residuos sólidos en aguas subterráneas

N	Lixiviados	Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*
1	Carbono orgánico total (COT)	16.80	23.00	12.40
2	Compuestos inorgánicos	Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*
	K ⁺ (mg/L)	14.03	21.20	13.23
	N-NH ₃ (mg/L)	3.21	4.80	2.63
	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	42.02	44.02	46.02
	Na ⁺ (mg/L)	5.53	3.00	4.80
3	Metales pesados	Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*
	Cr (mg/L)	0.00	0.010	0.00
	Hg (mg/L)	0.00	0.00	0.00

Nota. elaboración propia con base en resultados de laboratorio (Ver Anexo 4). *Valores reales.

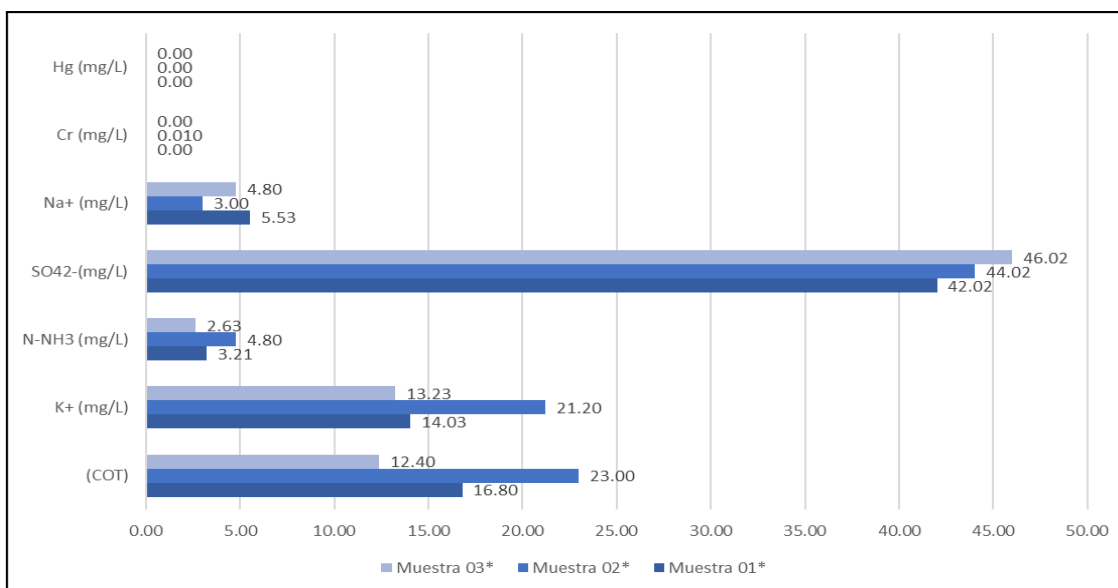


Figura 12: Gráfico de barras de Lixiviados de residuos sólidos en aguas subterráneas

Nota. elaboración propia con base en resultados de laboratorio (Ver Anexo 4).

En la tabla 4 y figura 12 se observó que, para las 03 muestras de agua subterránea, se registraron las siguientes concentraciones de lixiviados: En primer lugar, con respecto al nivel de Carbono Orgánico Total, se tuvieron valores de 16.80 mg C/L, 23.00 mg C/L, y 12.40 mg C/L.

En segundo lugar, con respecto al nivel de Compuestos inorgánicos; los niveles de Potasio (K+) fueron 14.03 mg/L, 21.20 mg/L y 13.23 mg/L respectivamente. Los niveles de Amoníaco (N-NH₃) fueron 3.21 mg/L, 4.80 mg/L y 2.63 mg/L, respectivamente. Los niveles de Sulfato (SO₄²⁻) fueron 42.02 mg/L, 44.02 mg/L y 46.02 mg/L, respectivamente. Y, los niveles de Sodio (Na+) fueron 5.53 mg/L, 3.00 mg/L y 4.80 mg/L respectivamente.

En tercer lugar, con respecto al nivel de Metales Pesados; los niveles de Cromo (Cr) fueron 0.00, 0.010 y 0.00, respectivamente. Mientras que, los niveles de Mercurio (Hg) fueron todas 0.00.

4.3. COMPARATIVA ECA-MINAM-2012 - AGUAS SUBTERRÁNEAS

4.3.1. Temperatura

Para realizar la comparativa ECA del indicador Temperatura con base en la variación de Temperatura promedio mensual multianual del área de estudio; primero se requirió

obtener los valores promedio de temperatura del distrito de Muñani, Puno. Estos, se extrajeron de la base de datos Weather Spark. Ver Anexo 7

Tabla 05: Comparativa entre Temperaturas registrada*promedio

Muestras	Temperatura registrada (°C)	Temperatura promedio (°C)
Muestra 01	10	7
Muestra 02	10	7
Muestra 03	10	7

Nota. Elaboración propia.

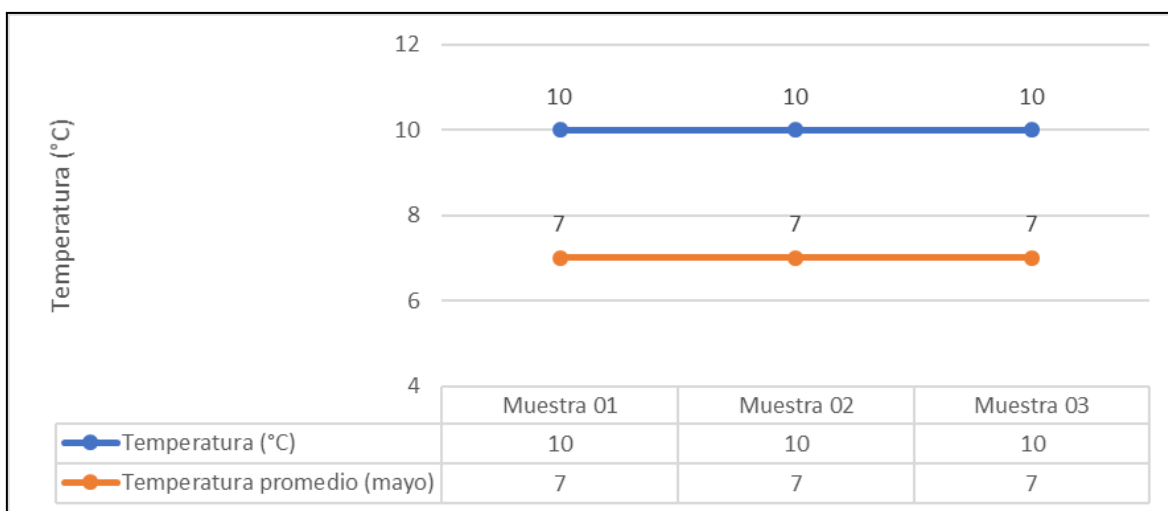


Figura 13: Comparativa entre Temperaturas registrada*promedio

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 5 y figura 13, se trabajaron con valores de temperatura promedio del mes de mayo porque fue en ese mes que se llevó a cabo la recolección de muestras de agua subterránea. Asimismo, se tuvo en cuenta el valor promedio de temperatura del distrito de Muñani, Puno con base en datos históricos de 8 años desde el 2016-2023.

Una vez obtenida la data sobre Temperatura promedio se halló la variación correspondiente a cada muestra y se realizó la la comparativa ECA del indicador con base en la variación de Temperatura promedio mensual multianual del área de estudio. Cabe señalar que no existen valores referenciales ECA-2004 presentados por el Ing.

Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea; para evaluar el indicador Temperatura. En ese sentido, estos valores fueron extraídos del estudio de Puma et. al. en el 2022 titulado: Evaluación de la calidad del agua subterránea en un sector de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa.

Tabla 06: Comparativa de parámetros - variación de Temperatura de aguas subterráneas

Muestras	Variación de Temperatura promedio	ECA 1 A1 ^a	ECA 1 A2: A ^b	ECA 4 E1 ^c
Muestra 01	Δ3*	Δ3**	Δ3**	Δ3**
Muestra 02	Δ3*	Δ3**	Δ3**	Δ3**
Muestra 03	Δ3*	Δ3**	Δ3**	Δ3**

Nota. Elaboración propia. Δ 3: Significa la variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. *Variación promedio registrado
**Variación promedio ECA. a: potabilizadas con desinfección. b: potabilizadas con tratamiento convencional. c: Lagunas y lago.

En la tabla 6, se observó que, los valores de variación de Temperatura promedio de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran dentro de los valores referenciales ECA 1 A1, ECA 1 A2: A y ECA 4 E1. Esto significa que, son cuerpos de agua que pueden ser potabilizadas con desinfección, potabilizadas con tratamiento convencional y que pueden ser encontradas en lagunas y lagos.

4.3.2. Conductividad eléctrica.

Los valores referenciales ECA-2004 que se exponen a continuación, fueron presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea. Asimismo, estos son valores referenciales correspondientes al Valle

Ramis, en donde se encuentra la cuenca del Rio Ramis, la cual conecta todos los acuíferos existentes en el espacio geográfico del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Región Puno - 2023. Ver Anexo 6

Tabla 07: Comparativa de parámetros sobre Conductividad eléctrica de aguas subterráneas

Muestras	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	ECA-MINAM	
		Min	Max
Muestra 01	121.2	850	1560
Muestra 02	120.6	850	1560
Muestra 03	116.7	850	1560

Nota. Elaboración propia. Se tuvo que realizar la búsqueda y posteriormente la conversión de las equivalencias para la conductividad eléctrica, puesto que estas solo se encontraban expresadas en mmho/cm(unidad de medida desfasada) y, debían estar uS/cm(unidad actualizada).Ver Anexo 7.

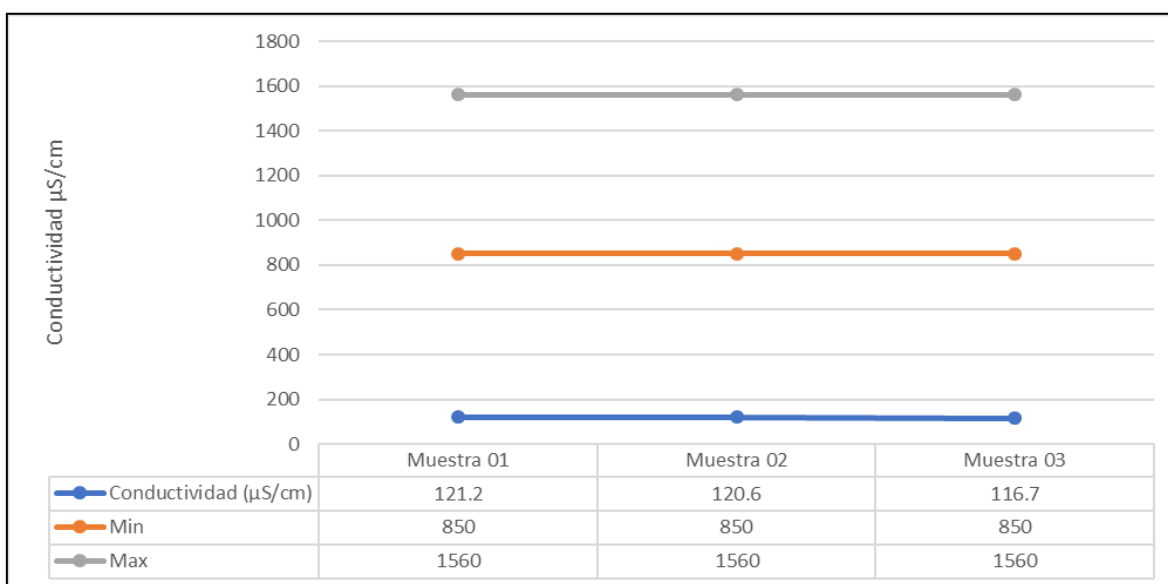


Figura 14: Comparativa de parámetros sobre Conductividad eléctrica de aguas subterráneas

Nota. Se tuvo que realizar la búsqueda y posteriormente la conversión de las equivalencias para la conductividad eléctrica, puesto que estas solo se encontraban

expresadas en mmho/cm(unidad de medida desfasada) y, debían estar uS/cm(unidad actualizada).Ver Anexo 7.

En la tabla 7 y figura 14, se observó que, los valores de conductividad eléctrica de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran por debajo de los valores ECA referenciales. La conductividad del agua subterránea puede variar significativamente debido a diversos factores geológicos, geográficos y ambientales. Si la conductividad del agua subterránea de montaña se encuentra por debajo del rango mínimo establecido por las normativas de calidad del agua, esto podría indicar una baja concentración de sales o minerales disueltos. Aunque esto no representa un problema en sí mismo, es importante considerar el contexto y evaluar si la baja conductividad puede estar relacionada con otros factores, como la calidad del agua para uso humano o la viabilidad de la vida acuática (Oxford University, 2023).

En algunos casos, una baja conductividad puede indicar un agua de mayor pureza, pero también podría implicar una menor capacidad para conducir la electricidad, lo que a su vez podría afectar su capacidad para transportar nutrientes y minerales esenciales. Los valores de conductividad del agua subterránea de montaña pueden variar debido a múltiples factores naturales y antropogénicos. Evaluar los valores de conductividad en el contexto adecuado y en función de los objetivos específicos es esencial para comprender su significado y potencial impacto (Oxford University, 2023).

4.3.3. pH.

Los valores referenciales ECA-2004 que se exponen a continuación, fueron presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea. Asimismo, estos son valores referenciales correspondientes al Valle Ramis, en donde se encuentra la cuenca del Río Ramis, la cual conecta todos los acuíferos existentes en el espacio geográfico del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Región Puno - 2023. Ver Anexo 6

Tabla 08: Comparativa de parámetros sobre el pH de aguas subterráneas

Muestras	pH	ECA-MINAM	
		Min	Max
Muestra 01	7.65	6.50	8.20
Muestra 02	7.62	6.50	8.20
Muestra 03	7.52	6.50	8.20

Nota. Elaboración propia.

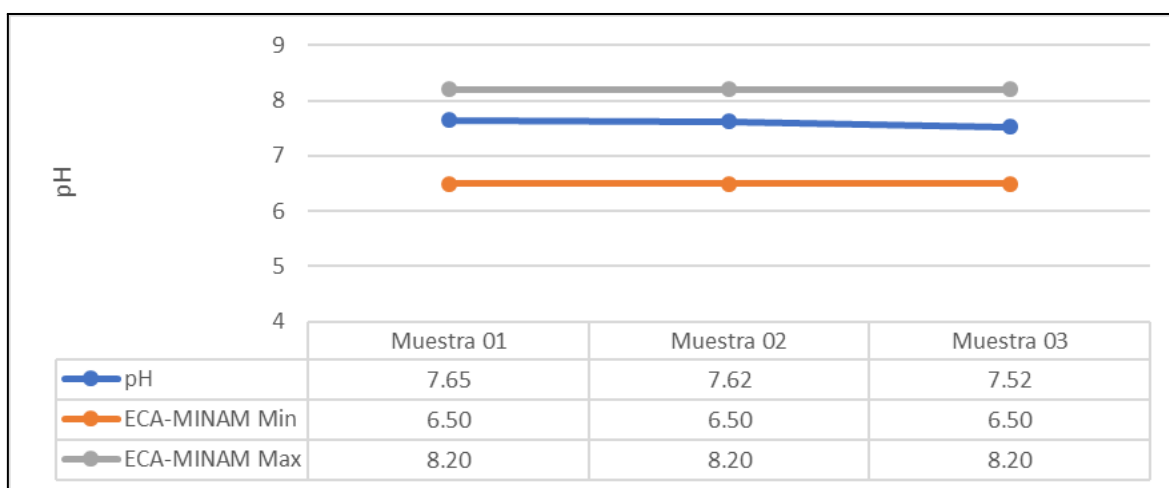


Figura 15: Comparativa de parámetros sobre el pH de aguas subterráneas

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 8 y figura 15, se observó que, los valores de pH de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran dentro de los valores ECA referenciales. Esto significa que los niveles de pH medidos están dentro del rango considerado como aceptable o deseable según los estándares establecidos por la Entidad de Control Ambiental u otra autoridad competente.

Los valores referenciales ECA se establecen como guías o estándares para proteger la calidad del agua y el medio ambiente en general. Si los valores de pH medidos se encuentran dentro de estos límites de referencia, se considera que el agua está en un

estado aceptable y no representa un riesgo significativo para el ecosistema acuático o para los seres vivos que dependen de esa agua (Summers, 2019).

4.3.4. Alcalinidad.

Para realizar la comparativa ECA del indicador Alcalinidad; primero se requirió buscar investigaciones sobre lugares con el mismo promedio de temperatura del distrito de Muñani, Puno. De todos los estudios examinados, el más cercano fue uno que exploró la calidad del agua subterránea en Teherán, Irán; el cual posee temperaturas promedio de 5 °C a 31 °C; predominando temperaturas bajas de 5 °C a 12 °C. Estos, se extrajeron de la base de datos Weather Spark.

Cabe señalar que no existen valores referenciales ECA-2004 presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea para evaluar el indicador Alcalinidad. En ese sentido, estos valores fueron extraídos del estudio de Shariatpanahi et. al. en 1987 titulado: Survey of chemical constituents of Tehran's groundwater.

Tabla 09: Comparativa de parámetros sobre el Alcalinidad de aguas subterráneas

Muestras	Alcalinidad (mg/L)	APHA Standard**	
		Min*	Max*
Muestra 01	169.33	135.2	309.4
Muestra 02	215.00	135.2	309.4
Muestra 03	144.9	135.2	309.4

Nota. Elaboración propia. *La ECA-MINAM-2004 no contempla este dato. **Este dato se extrajo del estudio de Shariatpanahi et. al. (1987). APHA: American Public Health Association.

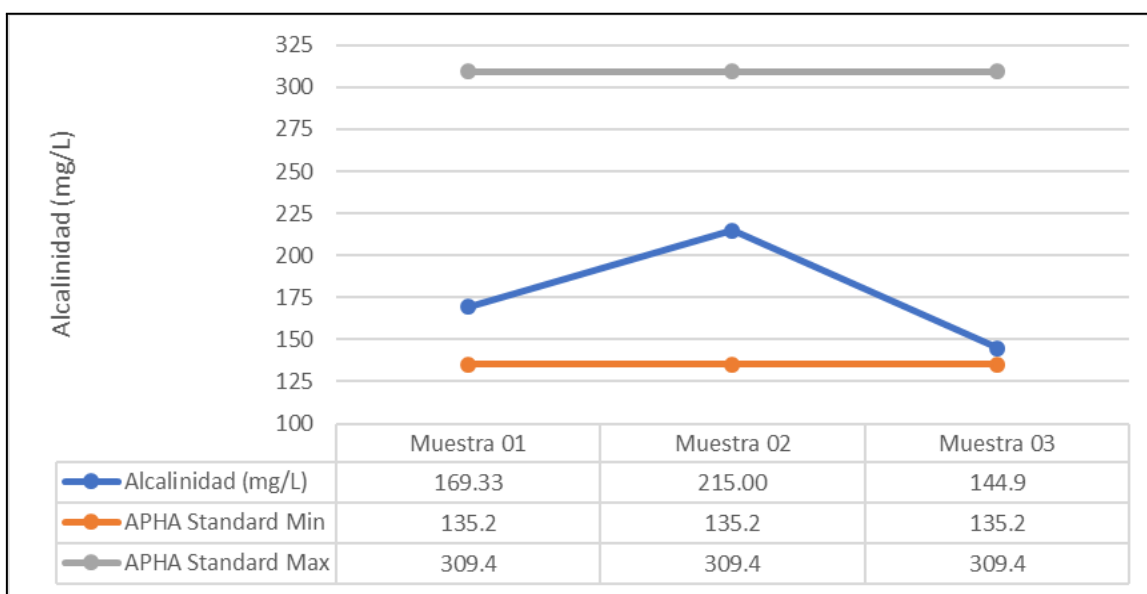


Figura 16: Comparativa de parámetros sobre el Alcalinidad de aguas subterráneas

Nota. Elaboración propia. APHA Standard: extraído de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24214233/>

En la tabla 9 y figura 16, se observó que, los valores de alcalinidad de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran dentro de los valores referenciales APHA Standard. Esto significa que, estas aguas subterráneas carecen de carbonatos, lo cual es de esperar, ya que el carbonato sólo existe por encima de pH = 8,3. Esto a su vez significa que el agua

subterránea tiene una capacidad suficiente para neutralizar ácidos y mantener su pH dentro de los rangos establecidos como seguros para el medio ambiente y otros usos (Ansah et al., 2020).

Asimismo, es importante tener en cuenta que la presencia o ausencia de carbonato puede variar según la geología y las condiciones locales. En algunos lugares, las aguas subterráneas pueden carecer naturalmente de carbonato debido a la composición del suelo y las rocas en la zona. Sin embargo, en otras situaciones, la falta de carbonato podría ser resultado de actividades humanas o alteraciones del agua subterránea (Lindamulla et al., 2022).

Finalmente, se debe tener en cuenta que, la solubilidad de los carbonatos y bicarbonatos, que son componentes importantes de la alcalinidad, puede variar con la temperatura. A temperaturas más altas, es probable que se disuelvan más sustancias y, por lo tanto, los niveles de alcalinidad pueden aumentar. Por otro lado, a temperaturas más bajas, la solubilidad de estos compuestos puede disminuir y la alcalinidad puede reducirse. Por ello, en lugares fríos, donde las temperaturas son más bajas, es probable que se encuentren alcalinidades más bajas debido a la menor solubilidad de los carbonatos y bicarbonatos (Gamboa, 2023).

4.3.5. Cloruros.

Los valores referenciales ECA-2004 que se exponen a continuación, fueron presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental; para Agua Subterránea. Asimismo, estos son valores referenciales correspondientes al Valle Ramis, en donde se encuentra la cuenca del Río Ramis, la cual conecta todos los acuíferos existentes en el espacio geográfico del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Región Puno - 2023. Ver Anexo 6

Tabla 10: Comparativa de parámetros sobre el Cloruro de aguas subterráneas

Muestras	Cloruro (mg/L)	ECA-MINAM	
		Min	Max
Muestra 01	35.46	8.90	203.30
Muestra 02	24.82	8.90	203.30
Muestra 03	17.73	8.90	203.30

Nota. Elaboración propia.

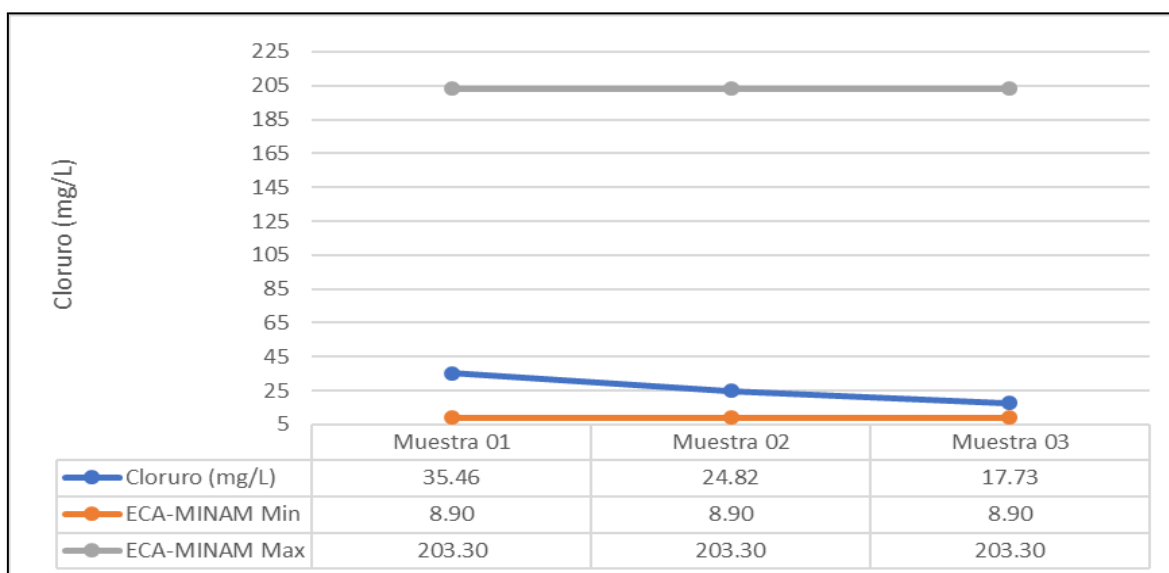


Figura 17: Comparativa de parámetros sobre el Cloruro de aguas subterráneas

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 10 y figura 17, se observó que, los valores de Cloruro de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran dentro de los valores referenciales ECA-MINAM. Esto significa que los niveles de Cloruro medidos en el agua subterránea no superan los límites considerados como seguros para la salud humana y el medio ambiente. Mantener los niveles de cloruro dentro de los valores referenciales ECA es importante para asegurar que el agua subterránea sea segura para su uso, ya sea para consumo humano, riego agrícola, uso industrial u otros propósitos. Si los niveles de cloruro superan estos valores, podría indicar la presencia de contaminantes o salinidad excesiva en el

agua, lo que podría afectar su calidad y su idoneidad para diversos usos (Ansah et al., 2020).

4.3.6. Lixiviados de residuos sólidos

Para realizar la comparativa ECA del indicador COT, Potasio (K+); primero buscó estudios sobre lugares con condiciones similares de ubicación y temperatura que Muñani. De todos ellos, el más cercano fue uno que exploró la calidad del agua subterránea en Polonia. Cabe señalar que no existen valores referenciales ECA-2004 presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012 para evaluar estos indicadores.

Carbono Orgánico Total (COT).

Tabla 11: Comparativa de parámetros sobre el COT en aguas subterráneas

Muestras	COT (mg C/L)	ECA-Polonia**	
		Min*	Max*
Muestra 01	16.80	1	10
Muestra 02	23.00	1	10
Muestra 03	12.40	1	10

Nota. Elaboración propia. *ECA-MINAM-2004 no contempla este dato. **Este dato se extrajo del Reglamento del Ministerio de Medio Ambiente de Polonia: <https://leap.unep.org/countries/pl/national-legislation/regulation-establishing-criteria-and-way-assessment-underground>.

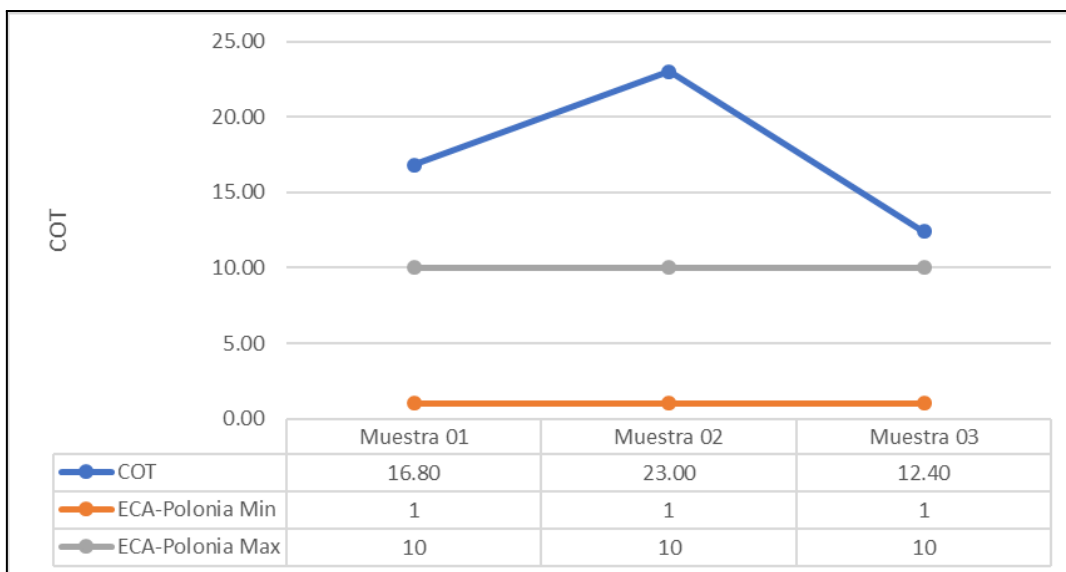


Figura 18: Comparativa de parámetros sobre el COT en aguas subterráneas

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 11 y figura 18, se observó que, los valores de COT de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran muy por encima de los valores límites referenciales ECA-Polonia. Esto puede indicar una alta carga de materia orgánica disuelta en el agua y, por consecuencia significar la existencia de contaminación y desequilibrios en el ecosistema acuático, lo que requiere una atención y acción adecuadas por parte de las autoridades reguladoras y los responsables de la gestión del agua (Orellana et al., 2011).

Potasio (K+).

Tabla 12: Comparativa de parámetros sobre el Potasio en aguas subterráneas

Muestras	K+ (mg/L)	ECA-Polonia**	
		Min*	Max*
Muestra 01	14.03	0.5	10
Muestra 02	21.20	0.5	10
Muestra 03	13.23	0.5	10

Nota. Elaboración propia. *ECA-MINAM-2004 no contempla este dato. **Este dato se extrajo del Reglamento del Ministerio de Medio Ambiente de Polonia: <https://leap.unep.org/countries/pl/national-legislation/regulation-establishing-criteria-and-way-assessment-underground>.

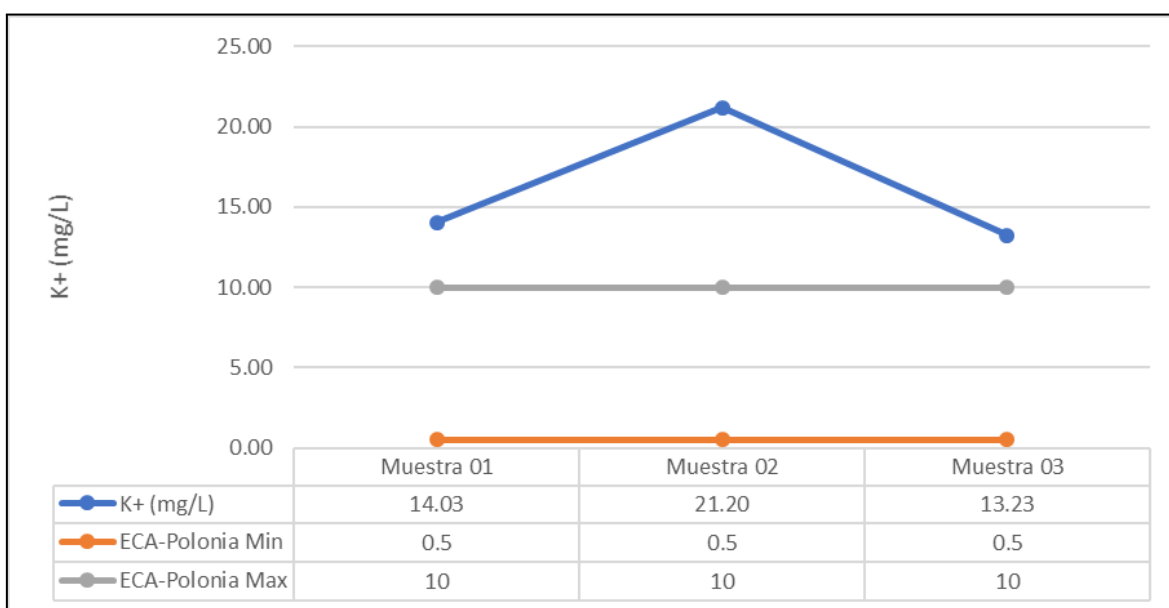


Figura 19: Comparativa de parámetros sobre el Potasio (K+) en aguas subterráneas

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 12 y figura 19, se observó que, los valores de Potasio (K+) de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran muy por encima de los valores límites referenciales ECA-Polonia. Es una señal de que podría haber problemas de contaminación y

desequilibrio en el ecosistema acuático, lo que requiere una evaluación cuidadosa y medidas adecuadas para mitigar los impactos negativos (Ansah et al., 2020).

Amoniac (NH₃).

Cabe señalar que no existen valores referenciales ECA-2004 presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012 para evaluar el indicador Amoniac y Cromo. Por ello, para realizar la comparativa ECA de estos indicadores; se optó por emplear los ECA-MINAM-2017 referenciales, para aguas subterráneas, presentados en el estudio de (Espinoza,2019), denominado: Determinación del índice de calidad ambiental de las aguas destinadas a consumo humano en el sector de Chanchajalla, distrito la Tinguña, Ica.

Tabla 13: Comparativa de parámetros sobre el Amoniac en aguas subterránea

Muestras	NH ₃ (mg/L)	ECA-C1-MINAM-2017*		
		A1	A2	A3
Muestra 01	3.21	1.5	1.5	**
Muestra 02	4.80	1.5	1.5	**
Muestra 03	2.63	1.5	1.5	**

Nota. Elaboración propia. C1: Categoría 1 - Poblacional y recreacional
*ECA-MINAM-2004 no contempla este dato. Estos datos se extrajeron de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22316>. **Este símbolo significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría. A3: Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado.

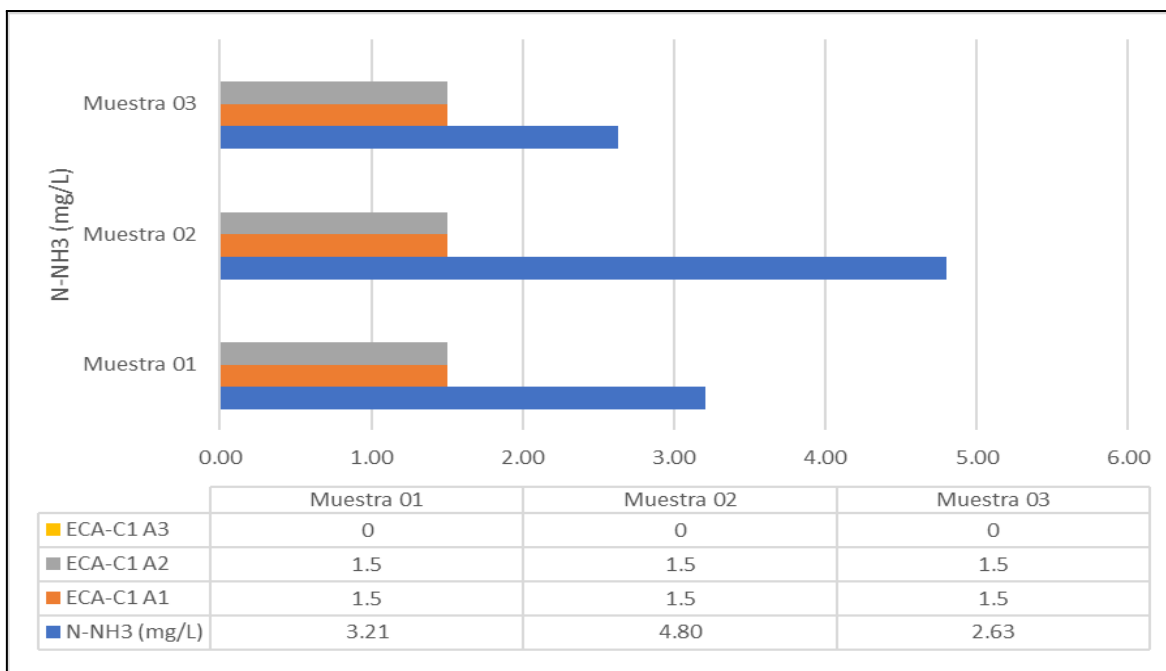


Figura 20: Comparativa de parámetros sobre el Amoniac en aguas subterráneas

En la tabla 13 y figura 20, se observó que, los valores de Amoniac de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran muy por encima de los valores límites referenciales ECA-C1-MINAM-2017. Esto significa que, son cuerpos de agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (A1) y que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (A2).

Por otro lado, los valores referenciales ECA-2004 para Sulfato, Sodio y Mercurio, que se exponen a continuación, fueron presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea. Asimismo, estos son valores referenciales correspondientes al Valle Ramis, en donde se encuentra la cuenca del Rio Ramis, la cual conecta todos los acuíferos existentes en el espacio geográfico del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Región Puno - 2023. Ver Anexo 6

Sulfatos (SO_4^{2-}).

Tabla 14: Comparativa de parámetros sobre el Sulfato en aguas subterránea

Muestras	SO_4^{2-} (mg/L)	ECA-MINAM	
		Min	Max
Muestra 01	42.02	20	210
Muestra 02	44.02	20	210
Muestra 03	46.02	20	210

Nota. Elaboración propia.

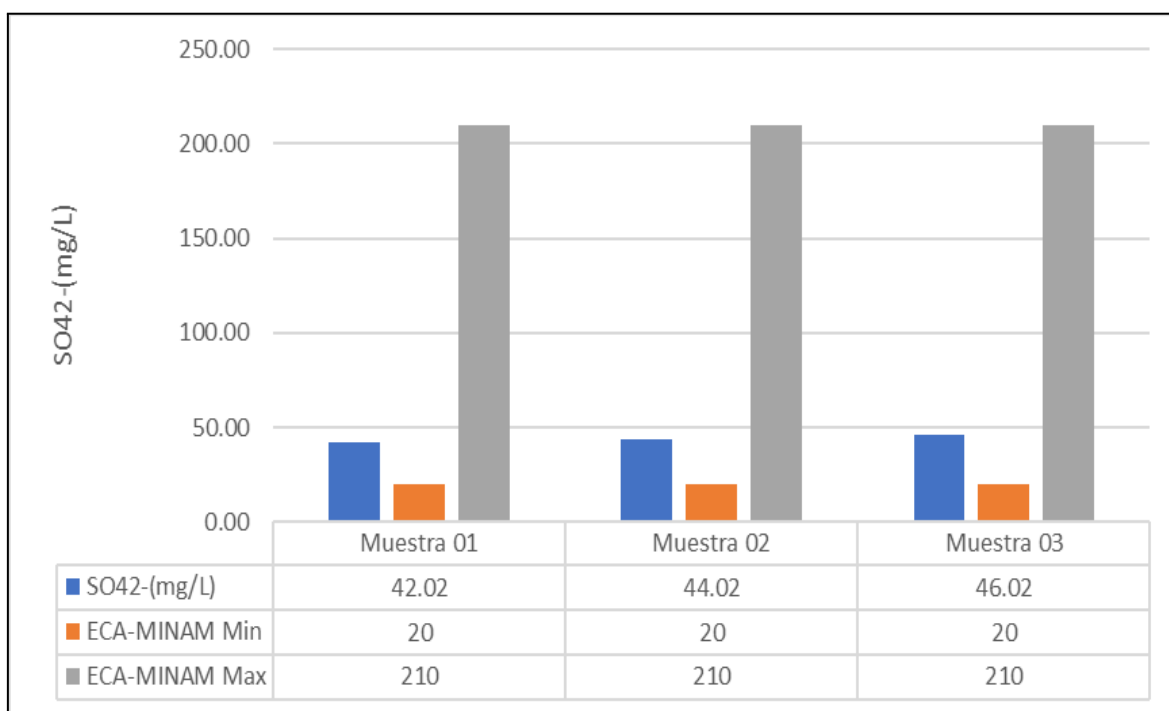


Figura 21: Comparativa de parámetros sobre el Sulfato en aguas subterráneas

En la tabla 14 y figura 21, se observó que, los valores de Sulfato de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran dentro de los valores referenciales ECA-MINAM. Esto significa que los niveles de Sulfatos medidos en el agua subterránea no superan los límites considerados como seguros para la salud humana y el medio ambiente. Si los valores de sulfato u otros parámetros exceden los valores referenciales ECA, puede

indicar la necesidad de tomar medidas correctivas, como la implementación de tratamientos de agua o la regulación de las actividades humanas que puedan estar contribuyendo a la contaminación (Ansah et al., 2020).

Sodio (Na⁺).

Tabla 15: Comparativa de parámetros sobre el Sodio en aguas subterránea

Muestras	Na ⁺ (mg/L)	ECA-MINAM	
		Min	Max
Muestra 01	5.53	40.71	117.30
Muestra 02	3.00	40.71	117.30
Muestra 03	4.80	40.71	117.30

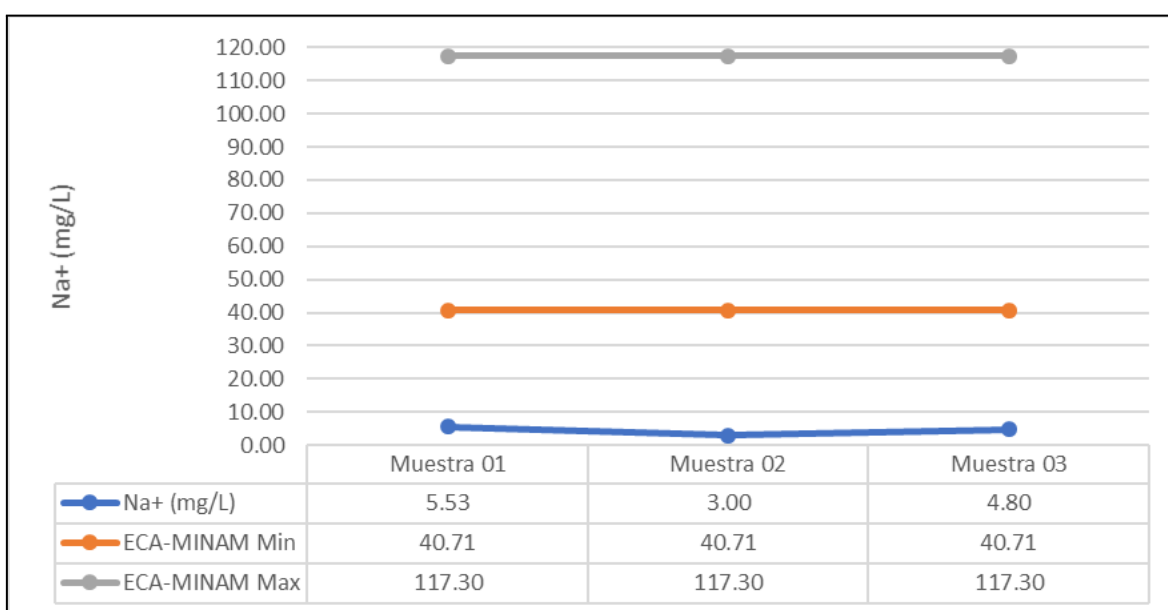


Figura 22: Comparativa de parámetros sobre el Sodio en aguas subterráneas

En la tabla 15 y figura 22, se observó que, los valores de Sodio de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran muy por debajo de los valores referenciales ECA-MINAM recomendados. Esto significa que, los niveles de sodio presentes en las aguas subterráneas son considerablemente inferiores a los límites establecidos como seguros por las autoridades reguladoras y medioambientales. En otras palabras, los

niveles de sodio en las aguas subterráneas son tan bajos que no representan un motivo de preocupación para la salud humana o el medio ambiente (Orellana et al., 2011).

Cromo (Cr)

Tabla 16: Comparativa de parámetros sobre el Cromo en aguas subterránea

Muestras	Cr (mg/L)	ECA-C1-MINAM-2017*		
		A1	A2	A3
Muestra 01	0.000	0.050	0.050	0.050
Muestra 02	0.010	0.050	0.050	0.050
Muestra 03	0.000	0.050	0.050	0.050

Nota. Elaboración propia. C1: Categoría 1 - Poblacional y recreacional *ECA-MINAM-2004 no contempla este dato. Estos datos se extrajeron de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22316>.

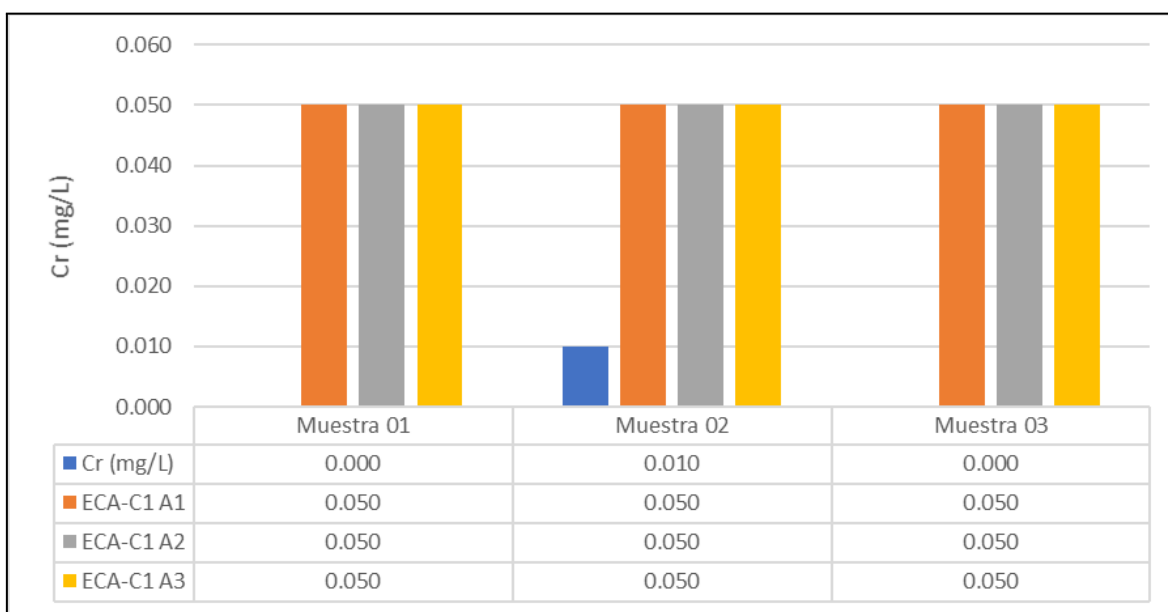


Figura 23: Comparativa de parámetros sobre el Cromo en aguas subterráneas

En la tabla 16 y figura 23, se observó que, los valores de Cromo de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran por debajo de los valores referenciales

ECA-C1-MINAM-2017 recomendados. Esto significa que, los niveles de cromo en el agua subterránea son tan bajos que no representan una preocupación para la salud humana ni para el medio ambiente. Asimismo, significa que son cuerpos de agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (A1), que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (A2) y, que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado (A3).

Mercurio (Hg)

Tabla 17: Comparativa de parámetros sobre el Mercurio en aguas subterránea

Muestras	Hg (mg/L)	ECA-MINAM			
		A-1	A-2	B	C
Muestra 01	0.00	0.001	0.002	0.001	0.002
Muestra 02	0.00	0.001	0.002	0.001	0.002
Muestra 03	0.00	0.001	0.002	0.001	0.002

Nota. Elaboración propia.

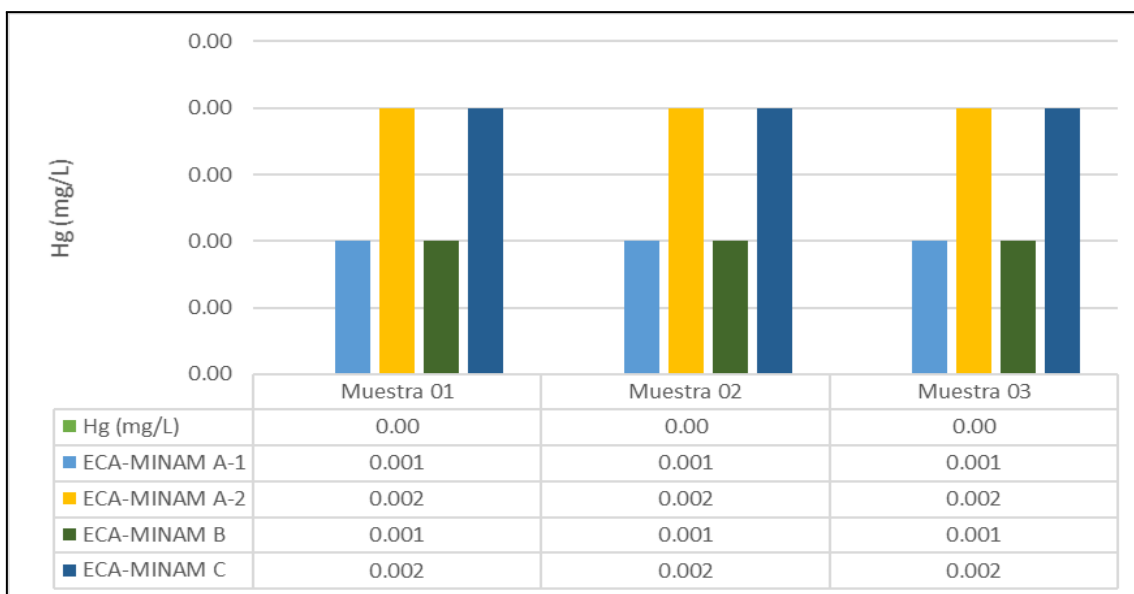


Figura 24: Comparativa de parámetros sobre el Mercurio en aguas subterráneas

En la tabla 17 y figura 24, se observó que, los valores de Mercurio de las 03 muestras de agua subterránea se encuentran por debajo de los valores referenciales ECA-MINAM

recomendados. Esto significa que, los niveles de Mercurio en el agua subterránea son tan bajos que no representan una preocupación para la salud humana ni para el medio ambiente. Asimismo, significa que, son aguas subterráneas que pueden ser destinadas para la producción de agua potable (A1-A2), que pueden ser aprovechables para el uso agropecuario (B) y que pueden ser empleadas para conservación del ambiente (C).

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En correspondencia con la Hipótesis general, se observó que, existen bajos niveles de contaminación del agua subterránea. Esto, debido a que, con respecto al afloramiento de lixiviados se encontraron infiltraciones laterales y subterráneas producto de un mal manejo del botadero informal de residuos sólidos. Asimismo, con respecto a los parámetros físico-químicos del agua, se determinó que en su gran mayoría estos se hallaron dentro de los rangos ECA recomendados e incluso en algunos casos no superaron los límites mínimos permitidos. También, con respecto a la concentración de lixiviados en el agua, se determinó que en su gran mayoría estos se hallaron dentro de los rangos ECA recomendados, a excepción de algunos pocos que registraron niveles por encima de lo permitido. Estos fueron 03; COT, Potasio y Amoníaco. Y, finalmente, con respecto a la calidad del agua se determinó que está puede clasificarse como agua con buena calidad.

Así, estos resultados fueron comparados con los resultados de los siguientes autores, quienes hablan sobre los siguientes temas: nivel de contaminación del agua subterránea, afloramiento de lixiviados, parámetros físico-químicos, concentración de lixiviados y calidad del agua.

En primer lugar, los hallazgos de Hredoy et al. (2022) develan la siguiente información: Primero, con respecto al nivel de contaminación del agua subterránea, no se menciona explícitamente el nivel de contaminación del agua en su trabajo, sino que lo trata implícitamente. Segundo, con respecto al afloramiento de lixiviados se menciona que los lixiviados de vertedero tienen la máxima probabilidad de contaminar el entorno con metales pesados, lo que podría indicar la presencia de afloramiento de lixiviados. Tercero,

con respecto a los Parámetros físico-químicos se menciona que todos los parámetros fisicoquímicos en las muestras de lixiviados superan los límites permitidos, lo que sugiere que los valores de estos parámetros son anómalos. Cuarto, con respecto a la concentración de lixiviados, no se hace referencia específica a este tema. Y, quinto, con respecto a la calidad del agua se menciona que los valores basados en concentraciones de metales pesados en las muestras estaban dentro del rango aceptable. Esto podría implicar que la calidad del agua en términos de metales pesados es aceptable, pero no proporciona una evaluación completa de la calidad del agua en otros aspectos. En general, Hredoy et al. (2022) parece indicar una alta contaminación en diferentes medios debido a los lixiviados de vertedero, especialmente en relación con metales pesados.

Es decir, los hallazgos coinciden parcialmente en el sentido de que ambas se refieren a la presencia de lixiviados y a la contaminación relacionada con metales pesados. Ambos sugieren que los lixiviados de vertedero pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, discrepan en varios aspectos. El resultado anterior proporciona una evaluación más específica de la calidad del agua, indicando que, aparte del COT, el potasio y el amoníaco, la calidad del agua es buena. En cambio, el de Hredoy et al. (2022) se centra en la contaminación por metales pesados y no ofrece una evaluación general de la calidad del agua ni menciona estos parámetros específicos.

En segundo lugar, los hallazgos de Velasquez (2021) develan la siguiente información:

Primero, con respecto al Nivel de contaminación del agua subterránea, se indica que los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el agua subterránea superan significativamente los niveles del estándar de calidad ambiental, lo que indica un impacto directo y significativo en el agua subterránea. concluyendo que existe un nivel alto de contaminación del agua subterránea debido a los lixiviados del botadero de Chilla en Juliaca. Segundo, con respecto al afloramiento de lixiviados, no se hace referencia específica a este tema. Tercero, con respecto a los parámetros físico-químicos, se mencionan los parámetros DBO y DQO como indicadores de la calidad del agua, y señala que superan los niveles del estándar de calidad

ambiental. Esto sugiere que los parámetros físico-químicos del agua están fuera de los valores normales debido a la contaminación por lixiviados. Cuarto, con respecto a la concentración de lixiviados se menciona que los metales pesados como el cobre, cadmio y cromo se encuentran en concentraciones que exceden el límite máximo permisible. Esto indica que la concentración de algunos componentes de los lixiviados es anormalmente alta. Quinto, con respecto a la calidad del agua se concluye que el área de disposición de residuos municipales presenta un riesgo moderado en términos de aspectos ambientales y socioeconómicos. Esto sugiere que la calidad del agua se ve afectada negativamente por la contaminación generada por el botadero, lo que no coincide con la afirmación de que la calidad del agua es buena.

Es decir, los hallazgos discrepan en varios aspectos y sólo coinciden parcialmente en algunos. Coinciden en que hay concentraciones elevadas de ciertos elementos en el agua, como el potasio, que superan los niveles normales. Pero discrepan en lo siguiente: Primero, mientras que los resultados del presente estudio afirman que existen bajos niveles de contaminación del agua subterránea; Velasquez (2021) sostiene que hay un alto nivel de contaminación del agua subterránea debido a los lixiviados. Segundo, mientras que los resultados del presente estudio indicaban que los parámetros físico-químicos del agua son normales; Velasquez (2021) señala que los valores de DBO y DQO superan significativamente los niveles del estándar de calidad ambiental, lo que indica un impacto directo y significativo en el agua subterránea. Y tercero, mientras que los resultados del presente estudio afirmaban que la calidad del agua es buena; Velasquez (2021) concluye que el área de disposición de residuos municipales presenta un riesgo moderado en términos de aspectos ambientales y socioeconómicos debido a la contaminación generada por el botadero.

En tercer lugar, los hallazgos de Aparicio (2021) develan la siguiente información: En primer lugar, con respecto al nivel de contaminación de las aguas subterráneas, el trabajo no menciona explícitamente esta cuestión, pero la aborda de forma implícita. Así, proporciona información sobre los factores físico-químicos de la fuente de agua afectada

por los lixiviados, que pueden estar relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas. En segundo lugar, con respecto al afloramiento de lixiviados, no se hace ninguna referencia específica a esta cuestión. En tercer lugar, con respecto a los parámetros fisicoquímicos se presentan datos sobre varios parámetros fisicoquímicos, como pH, DBO, DQO, SST, Hg, As, Cu, Fe y Zn. Se menciona que algunos de estos parámetros superan los Límites Máximos Permisibles (LMP), mientras que otros están por debajo de ellos. Esta información proporciona detalles sobre los parámetros fisicoquímicos del agua relacionados con la contaminación. En cuarto lugar, con respecto a la concentración de lixiviados, no se hace ninguna referencia específica a esta cuestión. En su lugar, se centra en la correlación entre diferentes parámetros fisicoquímicos en la fuente de agua afectada por los lixiviados. En quinto lugar, con respecto a la calidad del agua, no se hace ninguna referencia específica a esta cuestión. Sin embargo, sí menciona que algunos parámetros fisicoquímicos superan los LMP, lo que sugiere que la calidad del agua podría verse afectada negativamente por la contaminación.

Es decir, los resultados y la información proporcionada discrepa con el resultado mencionado en varios aspectos. Asimismo, cabe mencionar que, este no proporciona información específica sobre algunos de los aspectos como el afloramiento de lixiviados, la calidad del agua y la concentración de lixiviados, y muestra discrepancias en aspectos como los parámetros físico-químicos. Por lo tanto, se requiere que los resultados de Aparicio (2021) sean más completos.

En correspondencia con la Hipótesis Específica 1, se observó que, no se registraron cantidades anómalas de parámetro físico químicos contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas. Esto, debido a que, con respecto a los parámetros físicos, se encontró que los niveles de Temperatura se hallaron dentro parámetros normales de referencia; mientras que los niveles de conductividad eléctrica no superaron los parámetros mínimo aceptables de referencia. Asimismo, con respecto a los parámetros químicos, se encontró que los niveles de pH, Alcalinidad y Cloruros se hallaron dentro parámetros normales de referencia.

Así, estos resultados fueron comparados con los resultados de los siguientes autores, quienes hablan sobre los siguientes temas: parámetros físicos (Temperatura, conductividad eléctrica), parámetros químicos (pH, Alcalinidad, Cloruros).

En primer lugar, los hallazgos de Carrizales & Panca (2020), develan la siguiente información: Primero, con respecto a los Parámetros Físicos, se menciona que las mediciones se realizaron en el punto de muestreo M2 y proporcionan datos sobre la conductividad eléctrica del agua, que fue de 4940 uS/cm. Esto indica que había una alta conductividad eléctrica en el agua, lo que puede estar relacionado con la presencia de sustancias disueltas en el agua. Segundo, con respecto a los Parámetros Químicos se menciona que se obtuvieron datos sobre el pH del agua, que tuvo un valor de 9,8. Este valor indica que el agua tenía un pH bajo. Este valor indica que el agua tenía un pH alcalino o básico. Además, se proporcionó información sobre la alcalinidad, que era de 836 mg/L, lo que sugiere que el agua tenía una alcalinidad elevada. Sin embargo, no se habla específicamente de los niveles de cloruro, por lo que no se puede determinar si estaban dentro de los parámetros normales o no. Este estudio informa de altos valores de conductividad eléctrica, un pH alcalino y una alta alcalinidad en el agua analizada en la zona de estudio. Esto sugiere que el agua presentaba características químicas que podrían estar relacionadas con la presencia de lixiviados procedentes de residuos sólidos urbanos.

Es decir, estos hallazgos están parcialmente en desacuerdo con los resultados. Esto debido a que Carrizales & Panca (2020), reportan alta conductividad eléctrica, pH alcalino y alta alcalinidad en el agua analizada, sugiriendo que el agua podría estar afectada por la presencia de lixiviados de RSU. Por lo tanto, los resultados indican que existe influencia de los lixiviados en los parámetros físicos y químicos del agua, lo que podría considerarse una discrepancia parcial con la afirmación de que los parámetros son normales.

En segundo lugar, los hallazgos de Ramos (2019) develan la siguiente información: Primero, con respecto a los Parámetros Físicos, la temperatura no se menciona

específicamente en el estudio. Sin embargo, la conductividad eléctrica se encontró en niveles aptos (Apto), lo que coincide con el resultado antes mencionado de que la conductividad eléctrica no superó los parámetros mínimos aceptables. Segundo, con respecto a los Parámetros Químicos; el pH se registró en $7,47 \pm 0,12$, lo que se considera apto, coincidiendo con el resultado antes mencionado de que el pH estaba dentro de los parámetros normales. Por otra parte, los niveles de cloruros fueron de $286,32 \pm 42,22$, lo que se considera no apto y discrepa con el resultado antes mencionado de que los cloruros estaban dentro de los parámetros normales. Sin embargo, no se proporciona información sobre la alcalinidad.

Es decir, estos hallazgos concuerdan con el resultado de Ramos (2019), en cuanto a conductividad eléctrica y pH, pero discrepan en cuanto a cloruros, ya que los niveles registrados por el autor están por encima de los parámetros normales. Además, aporta información adicional sobre otros parámetros y concluye que el agua de los pozos no es apta para el consumo humano debido a las altas concentraciones de contaminantes.

En correspondencia con la Hipótesis Específica 2, se observó que, no existen suficientes ECA-MINAM-2012 para comparar la totalidad de parámetros fisicoquímicos y de contaminantes por lixiviados. Esto, debido a la falta de un ECA propio y estandarizado para la evaluación de las aguas subterráneas en Perú. Por eso, se optó por complementar la información con otros ECAs adicionales. Así, de los pocos que fueron comparados se observó lo siguiente: Primero, para algunos parámetros físico químicos, la mayoría de estos no superaron los ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del Distrito de Muñani. Así, se tuvo que, la conductividad se encuentra muy por debajo de los valores ECA recomendados y, el pH y los niveles de Cloruro se encuentran dentro de los valores ECA recomendados. Segundo, para algunos parámetros contaminantes por lixiviados la mayoría de estos no superaron los ECA-MINAM-2012: Así, se tuvo que, los niveles de Sulfato se encuentran dentro de los valores ECA recomendados. Mientras que, los niveles de Sodio y Mercurio se encuentran muy por debajo de los valores ECA recomendados.

Así, estos resultados fueron comparados con los resultados de los siguientes autores, quienes hablan sobre los siguientes temas: “comparación ECA”, “ECA para agua subterránea”, Estándar de calidad ambiental del Ministerio del Ambiente del 2012 (ECA-MINAM-2012)”, parámetros físicos (conductividad eléctrica), parámetros químicos (pH, Cloruros), “parámetros contaminantes por lixiviados (Sulfato, Sodio y Mercurio)”

En primer lugar, los hallazgos de Ramos (2019), revelan la siguiente información: Su investigación se centra en determinar la calidad del agua de pozos artesianos adyacentes a un botadero de residuos sólidos en Chilla, Juliaca, en el año 2018. Aunque no menciona estos temas específicos, brinda resultados detallados sobre diversos parámetros de calidad de agua en los pozos, como pH, conductividad eléctrica, turbidez, sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos, entre otros. Menciona que los valores del agua de los pozos artesianos superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Reglamento de calidad del agua para consumo humano en 2010. Esto indica que la calidad del agua de los pozos artesianos no cumple con los estándares establecidos por la normativa peruana y, por lo tanto, no es apta para el consumo humano.

En otras palabras, estos hallazgos coinciden parcialmente con los resultados del presente estudio, ya que no proporciona una comparación detallada con respecto a parámetros específicos de contaminantes de lixiviados como sulfato, sodio y mercurio, ni menciona explícitamente las Normas de Calidad Ambiental (NCA) 2012 del Ministerio del Ambiente.

En segundo lugar, los hallazgos de Carrizales & Panca (2020), develan la siguiente información: indica que los resultados no cumplen con los "límites máximos permisibles" según la normativa peruana y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, no brinda detalles específicos sobre la comparación con los valores del ECA-MINAM-2012 ni con los valores recomendados en su estudio. Es decir, estos hallazgos no coinciden con los resultados del presente estudio, ya que se utilizaron ECA para aguas superficiales.

En tercer lugar, los resultados de Mulato (2021) revelan la siguiente información: Primero, se identifican parámetros que exceden los Estándares de Calidad Ambiental (EQS) para el agua en varias localidades del área de estudio, incluyendo turbidez, pH y color. Segundo, los resultados de los análisis indican que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos exceden los límites establecidos por la normativa ambiental peruana (D.S. N° 004-2017-MINAM) para aguas superficiales. De esta manera, se concluye que el agua del ex relleno sanitario Pampachacra no es apta para el consumo humano debido a la presencia de contaminantes que superan los estándares de calidad ambiental. En otras palabras, estas conclusiones no coinciden con los resultados del presente estudio, dado que el autor se centra en las aguas superficiales y no proporciona información sobre las aguas subterráneas ni menciona el ECA-MINAM-2012.

En cuarto lugar, los hallazgos de Ololade et al. (2019), revelan la siguiente información: menciona que la mayoría de los parámetros analizados estaban por encima del límite permisible de la Norma Nacional Sudafricana 241 (SANS241) y de las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable. Esto indica que los resultados superan las normas y directrices de calidad del agua, lo que implica que existe contaminación y que el agua no es apta para el consumo ni para otros fines domésticos y de riego, tal como especifica el Departamento de Asuntos Hídricos y Silvicultura (DWAf). En otras palabras, estas conclusiones no concuerdan con los resultados del presente estudio, ya que evalúan las normas sudafricanas (SANS241) y las directrices de la OMS para el agua potable.

Finalmente, cabe señalar que no existen valores referenciales ECA-2004 presentados por el Ing. Mamani, Edwin en su publicación científica realizada a través del MINAM en 2012, denominada: Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea; para evaluar los siguientes indicadores: Temperatura, Alcalinidad, COT, Potasio (K⁺), Amoníaco y Cromo; con condiciones similares de ubicación y temperatura que Muñani. En ese sentido, estos valores fueron extraídos de los siguientes ECA propuestos en los siguientes estudios:

-ECA (1 A1, 1 A2: A, 4 E1) de Puma et. al. en el 2022 titulado: Evaluación de la calidad del agua subterránea en un sector de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa.

APHA Standard de Shariatpanahi et. al. en 1987 titulado: Survey of chemical constituents of Tehran's groundwater.

ECA-Polonia del Reglamento del Ministerio de Medio Ambiente de Polonia en 2008

ECA-C1-MINAM-2017 de Espinoza en 2019, denominado: Determinación del índice de calidad ambiental de las aguas destinadas a consumo humano en el sector de Chanchajalla, distrito la Tinguña, Ica.

CONCLUSIONES

Primera, en correspondencia con el objetivo general, se concluye que, existen bajos niveles de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno – 2023. Todo ello, se ve reflejado en los siguientes indicadores: Primero, en función al afloramiento de lixiviados, se observaron infiltraciones laterales y subterráneas de estos elementos contaminantes, debido a un mal manejo del botadero informal de residuos sólidos. Segundo, en función a los parámetros físico-químicos del agua, en su gran mayoría estos se hallaron dentro de los rangos ECA recomendados e incluso en algunos casos no superaron los límites mínimos permitidos. Tercero, en función a la concentración de lixiviados en el agua, en su gran mayoría estos se hallaron dentro de los rangos ECA recomendados, a excepción de algunos pocos que registraron niveles por encima de lo permitido. Estos fueron 03; COT, Potasio y Amoniaco. Cuarto, en función a la calidad del agua, está puede clasificarse como agua con buena calidad.

Segunda, en correspondencia con el objetivo específico 1, se concluyó que, no se registraron grandes cantidades de parámetro físico químicos contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno – 2023. Esto, se ve reflejado en los siguientes indicadores: Primero, en función a los parámetros físicos, los niveles de Temperatura se hallaron dentro parámetros normales de referencia; mientras que los niveles de conductividad eléctrica no superaron los parámetros mínimo aceptables de referencia. Es decir, no existe indicio alguno de que las propiedades físicas del agua sean anormales y propicien la contaminación de esta. Segundo, en función a los

parámetros químicos, los niveles de pH, Alcalinidad y Cloruros se hallaron dentro parámetros normales de referencia. Es decir, no existe indicio alguno de que las propiedades químicas del agua sean anormales y propicien la contaminación de esta.

Tercera, en correspondencia con el objetivo específico 2, se concluyó que, no existen suficientes ECA-MINAM-2012 para comparar la totalidad de parámetros fisicoquímicos y de contaminantes por lixiviados, por lo que se optó por complementar la información con otros ECAs adicionales. En ese sentido, se puede decir exclusivamente, para algunos parámetros físico químicos de contaminantes por lixiviados en las aguas subterráneas, que la mayoría de estos no superaron los ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno – 2023. Esto se ve reflejado en los siguientes indicadores: Primero, en función a la conductividad, los valores registrados se encuentran muy por debajo de los valores ECA recomendados. Segundo, en función al pH, los valores registrados se encuentran dentro de los valores ECA recomendados. Tercero, en función a los niveles de Cloruro, los valores registrados se encuentran dentro de los valores ECA recomendados. Cuarto, en función a los niveles de Sulfato, los valores registrados se encuentran dentro de los valores ECA recomendados. Quinto, en función a los niveles de Sodio, los valores se encuentran muy por debajo de los valores ECA recomendados. Sexto, en función a los niveles de Mercurio, los valores registrados se encuentran muy por debajo de los valores ECA recomendados.

RECOMENDACIONES

Primera, en referencia a la conclusión 1; se recomienda prestar especial atención al afloramiento de lixiviados y a los niveles de algunos de ellos que superan los límites recomendados, en el botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno – 2023. Para ello se requerirá de lo siguiente:

Para controlar el afloramiento de lixiviados:

- En primer lugar, se necesita de un sistema de recolección y drenaje y una red de drenaje subsuperficial que impida la acumulación y flujo superficial de lixiviados en el pie del talud interno y en el perímetro del botadero. Pues como consecuencia de ello se puede dar un debilitamiento estructural que ocasione graves accidentes.
- En segundo lugar, se necesita la impermeabilización y construcción de cunetas, canales, regueros y pozos de control del exterior del vaso como medida de control de lixiviados que contribuya a minimizar la contaminación del agua superficial o subterránea y la propagación de residuos en estas.
- En tercer lugar, se necesita programa o registro del mantenimiento del botadero, así como la construcción de sistema de evacuación de lixiviados, ya que todo botadero debe cumplir con las regulaciones y normativas ambientales y sanitarias vigentes.
- En cuarto lugar, se necesita formalizar el botadero informal municipal o en todo caso reubicarlo antes que represente un peligro para la población, la flora y fauna del lugar y los acuíferos de la zona.

Para controlar y vigilar los niveles de COT, Potasio y Amoniaco:

- En primer lugar, para mantener controlados y vigilados los niveles de COT, se requiere implementar monitoreos regulares de la calidad del agua subterránea en puntos estratégicos cercanos al vertedero. Realiza análisis de laboratorio para medir los niveles de COT y establece una línea base de referencia. Utiliza tecnologías de remediación in situ si se detectan incrementos significativos en los niveles de COT.
- En segundo lugar, para mantener controlados y vigilados los niveles de Potasio, se requiere Monitorea la concentración de potasio en las aguas subterráneas y realiza un mapeo de su distribución espacial. Si se observan concentraciones elevadas, considera la implementación de barreras reactivas o sistemas de filtración que puedan reducir la carga de potasio en el agua subterránea.
- En tercer lugar, para mantener controlados y vigilados los niveles de Amoniaco, se requiere realizar análisis periódicos de amoniaco en las aguas subterráneas para detectar aumentos repentinos. Diseña y establece zonas de amortiguamiento alrededor del vertedero para reducir la infiltración de lixiviados. Fomenta prácticas de gestión de residuos adecuadas en el vertedero para minimizar la generación de lixiviados ricos en amoniaco.

Segunda, en referencia a la conclusión 2; se recomienda, la monitorización continua de los parámetros estudiados así como la posibilidad expandir los indicadores físico-químicos para la evaluación de las aguas subterráneas cercanas a un botadero y buscar la reproducción de este estudio en entornos con características similares al distrito de Muñani, Puno. Esto, con el objetivo de poder expandir las bases de datos actuales que permitan tener información fidedigna para la toma de decisiones futuras que impliquen el manejo del medio ambiente.

Tercera, en referencia a la conclusión 3; se recomienda actualizar los ECA-MINAM-2012 para que futuros estudios puedan realizar adecuadamente la evaluación de parámetros

físico químicos y concentración de contaminantes por lixiviados en aguas subterráneas en zonas geográficas con condiciones similares al Distrito de Muñani, Puno. Para la actualización de los parámetros que no contempla el ECA-MINAM-2012, se requiere de la revisión de los ECAs propuestos en los siguientes estudios:

- Temperatura: Estudio de Puma et. al. en el 2022 titulado: Evaluación de la calidad del agua subterránea en un sector de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa.
- Alcalinidad: Estudio de Shariatpanahi et. al. en 1987 titulado: Survey of chemical constituents of Tehran's groundwater.
- COT y Potasio: Informe del Ministerio de Medio Ambiente de Polonia en 2008: Reglamento por el que se establecen criterios y forma de evaluación del estado de las aguas subterráneas.
- Amoníaco y Cromo: Estudio de Espinoza en 2019, denominado: Determinación del índice de calidad ambiental de las aguas destinadas a consumo humano en el sector de Chanchajalla, distrito la Tinguña, Ica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd-Elaty, I., Zelenakova, M., Straface, S., Vranayová, Z., & Abu-hashim, M. (2019). Integrated Modelling for Groundwater Contamination from Polluted Streams Using New Protection Process Techniques. *Water*, 11(11).
<https://doi.org/10.3390/w11112321>
- Al-Azawi, B. (2020). *Groundwater Contamination*. Ministry of Water Resources Iraq.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28118.06721>
- Ansah, K., Danso, E., Adom, E., Kwame Nkansah, D., Sintim, E., & Appiah-Danquah, E. (2020). Effect of waste landfill site on surface and ground water drinking quality. *Water and Environment Journal*, 35(2).
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/wej.12664>
- Aparicio Saavedra, M. E. (2021). Determinación de los factores físicos químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el botadero de Chilla Juliaca. *Universidad Nacional del Altiplano*.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17307>
- Aquist Hidrogeológica. (2020, enero 10). La contaminación de aguas subterráneas. *Aquist*. <https://www.aquist.cl/2020/01/10/contaminacion-aguas-subterranas/>
- Asenjo Acuña, L. V. (2022). *Influencia del botadero "El Cebollar" sobre la calidad de agua del río Socabaya, distrito de Paucarpata Arequipa* [Tesis de Bachillerato, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/14693>
- Atlas Scientific. (2022, marzo 21). *Dissolved Oxygen In Drinking Water*. Atlas Scientific.
<https://atlas-scientific.com/blog/dissolved-oxygen-in-drinking-water/>
- Ballotpedia. (2020). *BTEX*. Ballotpedia: The Encyclopedia of American Politics.
<https://ballotpedia.org/BTEX#:~:text=BTEX%20is%20an%20acronym%20that,or%20vapors%20at%20room%20temperature.>
- Baun, D. L., & Christensen, T. H. (2004). Speciation of Heavy Metals in Landfill Leachate:

- A Review. *Waste Management & Research*, 22(1), 3-23.
<https://doi.org/10.1177/0734242X04042146>
- Bentley, P. J., Gulbrandsen, M., & Kyvik, S. (2015). The relationship between basic and applied research in universities. *Higher Education*, 70(4), 689-709.
<https://doi.org/10.1007/s10734-015-9861-2>
- Burgos, T. (2018). *Determinación de la vulnerabilidad del acuífero, carga contaminante y concentración de nitratos de agua en pozos del sector rancho grande* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35072/1/TESIS%20TANIVER%20FRANSHESCA%20BURGOS%20TORRES.pdf>
- Carabalí, Y. (2013). *Determinación de la toxicidad de los lixiviados provenientes de un relleno sanitario de edad intermedia mediante indicadores biológicos* [Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle].
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/23518/3148-0478776.pdf?sequence=1>
- Carrizales, L. T., & Panca, C. M. A. (2020). Evaluación del impacto de la contaminación de los residuos sólidos sobre suelo y agua del botadero sanitario de Cancharani – Puno. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 2(4).
<https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/104>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2022, marzo 2). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Factsheet*. National Biomonitoring Program.
https://www.cdc.gov/biomonitoring/PAHs_FactSheet.html
- Chen, G., Sun, Y., Xu, Z., Shan, X., & Chen, Z. (2019). Assessment of Shallow Groundwater Contamination Resulting from a Municipal Solid Waste Landfill—A Case Study in Lianyungang, China. *Water*, 11(12).
<https://doi.org/10.3390/w11122496>
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos, & Universidad Nacional Autónoma de México. (2018). *Estudio sobreprotección de ríos, lagos y acuíferos desde la*

perspectiva de los derechos humanos.
https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf

Consejo Nacional del Ambiente, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, & Ministerio de Salud. (2004). *Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos.* <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128201237.pdf>

Cotrina Valles, M. E. (2016). *Determinación de metales pesados en lixiviados generados en el botadero municipal de la ciudad de Juanjui, provincia de Mariscal Cáceres, región San Martín—2016.* <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/8298>

Diario Oficial El Peruano. (2016, diciembre 23). *Decreto Legislativo N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Diario Oficial El Peruano. <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4/>

Fluence. (2020, marzo 30). *Uso de la filtración para recargar acuíferos.* Fluence Corp. <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-percolacion/>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, & Organización Mundial de la Salud. (2018). *Preguntas principales sobre agua, saneamiento e higiene para uso en encuestas de hogares: Actualización de 2018.* <https://washdata.org/report/jmp-2018-core-questions-household-surveys-es>

Gamboa, L. (2023). *Procesos de oxidación aplicados a tratamientos de lixiviados generados en rellenos sanitarios* [Tesis de Grado Especialista, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3225/GAVLLD06T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García de Cortázar, A., Del Rivero, J., Lobo, A., & Lorena, A. (2015). *Documento guía para la realización de balances hídricos en vertederos.* Gobierno Vasco.

- Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial.
https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/balances_hidricos_vertederos/es_def/adjuntos/guia_balances_hidricos_vertederos.pdf
- Geoenciclopedia. (2022, febrero 27). *Canales: Definición, Tipos y Amenazas*. Geoenciclopedia. <https://www.geoenciclopedia.com/canales-80.html>
- Gidahatari. (2021, mayo 5). *Estabilidad de taludes, deslizamientos de tierra y sus causas*. Gidahatari.
<https://gidahatari.com/ih-es/estabilidad-de-taludes-deslizamientos-de-tierra-causas>
- Government of Canada. (2009). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Total Dissolved Solids (TDS)* [Research;guidance]. Government of Canada.
<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-total-dissolved-solids-tds.html>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education.
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Hossain, M. F., Jahan, E., Parveen, Z., Ahmed, S. M., & Uddin, M. J. (2018). Solid Waste Disposal and its Impact on Surrounding Environment of Matuail landfill Site, Dhaka, Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences*, 14(5), 234-245.
<https://doi.org/10.3844/ajessp.2018.234.245>
- Hredoy, R. H., Siddique, M. A. B., Akbor, M. A., Shaikh, M. A. A., & Rahman, M. M. (2022). Impacts of Landfill Leachate on the Surrounding Environment: A Case Study on Amin Bazar Landfill, Dhaka (Bangladesh). *Soil Systems*, 6(4).
<https://doi.org/10.3390/soilsystems6040090>
- Huamaní Montesinos, C., Tudela Mamani, J. W., Huamaní Peralta, A., Huamaní Montesinos, C., Tudela Mamani, J. W., & Huamaní Peralta, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca—Puno—Perú. *Revista de Investigaciones*

- Altoandinas*, 22(1), 106-115. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.541>
- Hurtado, J., & Baron, K. (2017). *Propuesta de tratamiento físico-mecánico de las aguas subterráneas con problemas de dureza del Parque Residencial Puertas del Sol Distrito de la Victoria – Lambayeque*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Lambayeque]. <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/114/3/TESIS%20.pdf>
- IES Fray Pedro de Urbina. (2019). *Diccionario geografía: Vocabulario*. Departamento de Geografía e Historia. <http://www.iesfraypedro.com/files/sociales/diccionario-geografia.pdf>
- Instituto Español de Oceanografía. (2018). *Índice de Afloramiento*. Instituto Español de Oceanografía. <http://www.indicedeafloramiento.ieo.es/afloramiento.html>
- Instituto Geológico y Minero de España. (1985). 3. Contaminación de las aguas subterráneas. En *Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España*. Instituto Geológico y Minero de España. https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/3_1.pdf
- ITP Producción, Ministerio de la Producción, & ITP red cite. (2023). *Muñani: Economía, salud, educación, hogares, demografía, gobierno, industrias, I+D y red CITE*. <https://data-peru.itp.gob.pe/profile/geo/munani>
- Jain, S. K., & Singh, V. P. (2003). Chapter 13—Water Quality Modeling. En S. K. Jain & V. P. Singh, *Developments in Water Science* (Vol. 51, pp. 743-786). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-5648\(03\)80067-9](https://doi.org/10.1016/S0167-5648(03)80067-9)
- Javahershenas, M., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., & Mahvi, A. H. (2022). The effects of Lahijan landfill leachate on the quality of surface and groundwater resources. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 558-574. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1724984>
- Jones Lee, A., & Lee, G. (1993). *Groundwater pollution by municipal landfills: Leachate composition, detection and water quality significance*. Proc. Sardinia '93 IV International Landfill Symposium. https://www.researchgate.net/publication/311570455_Groundwater_pollution_by_

- municipal_landfills_Leachate_composition_detection_and_water_quality_significance
- Li, J., Sun, C., Chen, W., Zhang, Q., Zhou, S., Lin, R., & Wang, Y. (2022). Groundwater Quality and Associated Human Health Risk in a Typical Basin of the Eastern Chinese Loess Plateau. *Water*, 14(9), Art. 9. <https://doi.org/10.3390/w14091371>
- Lindamulla, L., Nanayakkara, N., Othman, M., Jinadasa, S., Herath, G., & Jegatheesan, V. (2022). Municipal Solid Waste Landfill Leachate Characteristics and Their Treatment Options in Tropical Countries. *Current Pollution Reports*, 8. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-022-00222-x#citeas>
- Liu, X., & Wang, Y. (2022). Identification and Assessment of Groundwater and Soil Contamination from an Informal Landfill Site. *Sustainability*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142416948>
- López, R. (2015). *Evaluación de la producción de lixiviados en vertederos de residuos sólidos urbanos: Métodos disponibles y aplicación a vertederos de cuencas mediterráneas* [Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/65724/TFM%20ROCIO%20LOPEZ%20VELASCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Luis, J. (2012). Hipótesis, Método & Diseño de Investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.
- Maturi, K. C., Gupta, A., Haq, I., & Kalamdhad, A. S. (2022). Chapter 7 - A glance over current status of waste management and landfills across the globe: A review. En I. Haq, A. S. Kalamdhad, & M. P. Shah, *Biodegradation and Detoxification of Micropollutants in Industrial Wastewater* (pp. 131-144). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88507-2.00001-4>
- Montalvo Quiroz, J., & Quispe Becerra, M. (2018). *Contaminación del agua superficial por lixiviados de un relleno sanitario* [Tesis de Bachillerato, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23043/Montalvo%20Quiroz>

%20Jose%20Smith%20-%20Quispe%20Becerra%20Miguel.pdf?sequence=1&isAl
lowed=y

Morales, E. (2021, septiembre 13). *La contaminación del agua subterránea*. Conacyt, Gobierno de México. <https://conacyt.mx/la-contaminacion-del-agua-subterranea/>

Mulato Pari, B. (2021). Evaluación de la calidad del agua en el área de influencia del ex botadero de residuos sólidos del centro poblado de Pampachacra, distrito de Huancavelica-2021. *Universidad Continental*.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11861>

Municipalidad Distrital de Muñani. (2019). *Presupuesto Institucional de Apertura año Fiscal 2020* [OFICIO-001-2020-MDM-A].

https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Consejo_Directivo/Documentos_Otras_Instituciones/OFICIO-001-2020-MDM-A...pdf

Natur Vards Verket. (2020). *Halogenated organic compounds (AOX)*. Natur Vards Verket.

<https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/en/Substances/Chlorinated-organic-substances/Halogenated-organic-compounds/>

NIEHS. (2023). *Safe Water and Your Health*. National Institute of Environmental Health Sciences. <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/water-poll/index.cfm>

Niño Carvajal, L., Ramón Valencia, J., & Ramón Valencia, J. (2016). Contaminación fisicoquímica de acuíferos por los lixiviados generados del relleno sanitario El Carrasco, de Bucaramanga. *Producción + Limpia*, 11(1).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-0455201600010007

Ñahui Gala, L. M., & Acosta Romero, D. C. (2021). *Efecto de la descarga de lixiviado del exbotadero El Edén en el cuerpo de agua adyacente, sector Yauris, distrito de El Tambo, Provincia de Huancayo, 2021* [Tesis de Licenciatura, Universidad Continental].

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11464/3/IV_FIN_107_TE_%C3%91ahui_Acosta_2021.pdf

- Odom, F., Gikunoo, E., Arthur, E. K., Agyemang, F. O., & Mensah-Darkwa, K. (2021). Stabilization of heavy metals in soil and leachate at Dompouse landfill site in Ghana. *Environmental Challenges*, 5, 100308. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100308>
- Ololade, O. O., Mavimbela, S., Oke, S. A., & Makhadi, R. (2019). Impact of Leachate from Northern Landfill Site in Bloemfontein on Water and Soil Quality: Implications for Water and Food Security. *Sustainability*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154238>
- Orellana, G., Cano-Raya, C., López-Gejo, J., & Santos, A. R. (2011). 3.10—Online Monitoring Sensors. En P. Wilderer (Ed.), *Treatise on Water Science* (pp. 221-261). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00059-2>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2016, marzo 17). *El OEFA no autoriza el funcionamiento de botaderos municipales*. OEFA. <https://www.oefa.gob.pe/el-oefa-no-autoriza-el-funcionamiento-de-botaderos-municipales/ocac06/>
- Orihuela Sotomayor, L. U. (2018). Efectos y riesgos ambientales generados por el botadero de residuos sólidos del distrito Paucarpata, Arequipa 2018. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8621>
- Oxford University. (2023). *Hydraulic conductivity* [Oxford Reference]. Oxford Reference. <https://doi.org/10.1093/oi/authority.20110803095952702>
- Parvin, F., & Tareq, S. M. (2021). Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: A systematic review and possible public health risks assessment. *Applied Water Science*, 11(6), 100. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01431-3>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2017, febrero 15). *Definición de cuneta*. Definición.de. <https://definicion.de/cuneta/>
- Podlasek, A., Jakimiuk, A., Vaverková, M. D., & Koda, E. (2021). Monitoring and

- Assessment of Groundwater Quality at Landfill Sites: Selected Case Studies of Poland and the Czech Republic. *Sustainability*, 13(14).
<https://doi.org/10.3390/su13147769>
- Ramos Flores, C. (2019). Calidad del agua de los Pozos Artesanales Adyacentes al Botadero de Residuos Sólidos de Chilla, Juliaca 2018. *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez*. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3177>
- Ratna, M., Giduturi, V., & Geddam, D. (2021). The Effects of leachate from Municipal Solid Waste Landfill Dump Sites on Ground Water Contamination. *Levant*, 20, 194-207.
- Reyes Medina., M. (2015). *Lixiviados en plantas de residuos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento*. [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València].
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56763/REYES%20-%20Lixiviados%20en%20plantas%20de%20residuos.%20Una%20contribuci%C3%B3n%20para%20la%20selecci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20trat....pdf?sequence=1>
- Royal Geographical Society. (2020). *Surgencia o afloramiento*. Galápagos Conservation Trust.
<http://descubriendogalapagos.ec/descubre/procesos-geograficos/oceanografia/surgencia/>
- Sigler, P. W. A., & Bauder, J. (2020). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales* (Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales). Universidad Estatal de Montana.
http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
- Ley General de Residuos Sólidos, n.º Ley N° 27314 (2000).
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- Ley de Recursos Hídricos, n.º Ley N° 29338 (2009).
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-recursos-hidricos-0>

- Spooner, K. (2020). *There Must be Something in the Water: A Comparative Study of Ground Water Contamination in the U.S.A. and Canada* [Honors Theses]. Union College.
- Stanley, M. (2018). *Channel*. National Geographic Society. <https://education.nationalgeographic.org/resource/channel>
- Summers, K. (2019). Water Quality Parameters. En *Water Quality—Science, Assessments and Policy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89657>
- Velasquez Vilca, L. C. (2021). *Evaluación de niveles de contaminación de agua y suelo generados por los lixiviados del botadero de Chilla en Juliaca, 2021* [Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90942>
- Wade, L. (2018). *Phenol: Definition, Structure, Uses, & Facts*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/phenol>
- Water Science School. (2018a). *Alkalinity and Water*. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/alkalinity-and-water#overview>
- Water Science School. (2018b). *Biological Oxygen Demand (BOD) and Water*. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/biological-oxygen-demand-bod-and-water#overview>
- Water Science School. (2018c). *Turbidity and Water*. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/turbidity-and-water#overview>
- Wu, J., Zhang, H., He, P.-J., & Shao, L.-M. (2011). Insight into the heavy metal binding potential of dissolved organic matter in MSW leachate using EEM quenching combined with PARAFAC analysis. *Water Research*, 45(4), 1711-1719. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.022>

Zhepei, G., Feng, K., Li, Y., & Li, Q. (2022). Microbial characteristics of the leachate contaminated soil of an informal landfill site. *Chemosphere*, 287, 132155. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132155>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz De Consistencia.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR LIXIVIACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL BOTADERO MUNICIPAL DEL DISTRITO DE MUÑANI, PUNO - 2023.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>GENERAL ¿Cuál es el nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023?</p> <p>ESPECÍFICOS ¿Qué parámetros físico químicos contaminantes por lixivados se encontrarán en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de</p>	<p>GENERAL Determinar el nivel de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023.</p> <p>ESPECÍFICOS Identificar los parámetros físico químicos contaminantes por lixivados en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno -</p>	<p>GENERAL Existen niveles altos de contaminación del agua subterránea del acuífero situado en el área de influencia del botadero municipal del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023.</p> <p>ESPECÍFICOS Se registran una gran cantidad de parámetros físico químicos contaminantes por lixivados en las aguas subterráneas del botadero municipal del Distrito</p>	<p>VARIABLE IND: Parámetro de los lixivados VARIABLE DEP: Contaminación del agua subterránea DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Característica s físicas - Característica s química - Afloramiento de lixivados - materia orgánica disuelta - compuestos inorgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Distancia desde botadero (Km) - Temperatura (°C) - Turbidez (NTU) - Conductividad (µS/cm) - Distancia desde botadero (Km) - pH - Alcalinidad (mg/L) - Cloruro (mg/L) - Existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el perimetro de la masa de residuos - Existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el pie del talud interno - Circulación de masas líquidas, 	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación directa - Recolección de muestras - Llenado de fichas <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cámara fotográfica. - Guía de observación de campo - Instrumentos para recolección de muestras de agua. - Ficha de recolección de datos cuantitativos 	<p>Población:</p> <p>Cuerpos de agua existentes en los acuíferos situados en el área de influencia del botadero y área poblada del distrito Muñani, provincia de Azángaro, Puno - 2023.</p> <p>Muestra:</p> <p>3 muestras de agua extraídas del área de influencia del botadero y área poblada del Distrito de Muñani.</p>

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>Muñani, Puno - 2023?</p> <p>¿Los parámetros fisicoquímicos por lixiviados en las aguas subterráneas superan los ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023?</p>	<p>2023.</p> <p>Comparar los resultados obtenidos con los parámetros fisicoquímicos por lixiviados en las aguas subterráneas de acuerdo al ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del distrito Muñani, Puno – 2023</p>	<p>de Muñani, Puno - 2023</p> <p>Los parámetros físico químicos por lixiviados en las aguas subterráneas superan los ECA-MINAM-2012 en el botadero municipal del Distrito de Muñani, Puno - 2023.</p>		<p>oscuras y con mal olor en las cunetas de la zona</p> <ul style="list-style-type: none"> - Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor que se evacúan lateralmente como flujo superficial - Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en los canales de la zona - Presencia de decoloraciones, manchas y huellas de regueros en el perímetro del botadero - Existencia de una impermeabilización de fondo - Existencia de una red de drenaje 		<p>Procesamiento de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis físico-químico en laboratorio. - Pruebas estadísticas descriptivas en SPSS.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
				subsuperficial - Existencia de afección en los pozos de control del exterior del vaso - Existencia de un programa y registros del mantenimiento del botadero - Existencia de un sistema de evacuación de lixiviados. - Carbono orgánico total (COT) - K+ (mg/L) - Amoniaco - N-NH ₃ (mg/L) - Sulfatos - SO ₄ ²⁻ (mg/L) - Na+ (mg/L) - Cr (mg/L) - Hg (mg/L)		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 02: Instrumentos Para Recolectar Datos.

INSTRUMENTO _01
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS:
CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR LIXIVIACIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS EN BOTADERO MUNICIPAL

DATOS GENERALES

N°	Cod Muestra	Tipos de muestra	Cantidad recolectada	Ubicación geográfica
1	Muestra 01	Agua subterránea del botadero	750 ml.	14° 44'07.1"S 69°54'58.3"W
2	Muestra 02	Agua subterránea del botadero	750 ml.	14° 44'05.8"S 69°55'01.3"W
3	Muestra 03	Agua subterránea del botadero	750 ml.	14° 44'03.7"S 69°55'07.8"W

Nota: La evidencia visual de las muestras recolectadas y de los procedimientos se añadirán al informe final en los ANEXOS.

DATOS ESPECÍFICOS

I. Características físicas

		Valor real	Valor real	Valor real
1	Indique las características de calidad físicas	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
	Distancia desde botadero (Km)	116.53	22.56	187.46
	Temperatura (°C)	10	10	10
	Turbidez (NTU)	SD	SD	SD
	Conductividad (µS/cm)	121.2	120.6	116.7

II. Características químicas

		Valor real (mg/L)	Valor real (mg/L)	Valor real (mg/L)
2	Indique las características de calidad química	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
	Distancia desde botadero (Km)	116.53	22.56	187.46
	pH	7.65	7.62	7.52
	Alcalinidad (mg/L)	169.33	215.00	144.9
	Cloruro (mg/L)	35.46	24.82	17.73

CONCENTRACIÓN DE LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS


I. Lixiviados de residuos sólidos en las aguas subterráneas del botadero


		Valor real	Valor real	Valor real
1	Identifique las concentraciones de materia orgánica disuelta	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
	Carbono orgánico total (COT)	16.80	23.00	12.40
		Valor real (mg/L)	Valor real (mg/L)	Valor real (mg/L)
2	Identifique las concentraciones de compuestos inorgánicos	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
	K ⁺	14.03	21.20	13.23
	N-NH ₃	3.21	4.80	2.63
	SO ₄ ²⁻	42.02	44.02	46.02
	Na ⁺	5.53	3.00	4.80
		Valor real (mg/L)	Valor real (mg/L)	Valor real (mg/L)
3	Identifique las concentraciones de metales pesados	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
	Cr	0.00	0.010	0.00
	Hg (µg/L)	0.00	0.00	0.00


Nota. Datos de las muestras (agua subterránea del botadero).


Fuente. Elaboración propia con base en los estudios de los siguientes autores: (Carabalí, 2013); (Reyes, 2015); (Montalvo & Quispe, 2018); (Ansah et al., 2020); (Lindamulla et al., 2022) y (Gamboa, 2023).


INSTRUMENTO _02
GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO:
CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR LIXIVIACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN BOTADERO MUNICIPAL
AFLORAMIENTO DE LIXIVIADOS

I. Elementos visuales del afloramiento		SI	NO	Evidencia visual (fotográfica) u Observación
1	Infiltraciones laterales			
	Existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el perímetro de la masa de residuos	X		


Evidencia visual (fotográfica) u Observación	NO	SI
		X
<p>Existencia de masas líquidas, oscuras y con mal olor en el pie del talud interno</p>		

	SI	NO	Evidencia visual (fotográfica) u Observación
Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en las cunetas de la zona		X	No hay presencia de cunetas en el perímetro de la zona.
Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor que se evacúan lateralmente como flujo superficial	X		

		Evidencia visual (fotográfica) u Observación	
		SI	NO
	Circulación de masas líquidas, oscuras y con mal olor en los canales de la zona		X
	Presencia de decoloraciones, manchas y huellas de regueros en el perímetro del botadero	X	
			
		No hay presencia de canales en el perímetro de la zona.	

		SI	NO	Evidencia visual (fotográfica) u Observación
2	Infiltraciones subterráneas			
	Existencia de una impermeabilización de fondo		X	

<p>Evidencia visual (fotográfica) u Observación</p>	
<p>NO</p>	<p>X</p>
<p>SI</p>	<p>Existencia de una red de drenaje superficial</p>

	SI	NO	Evidencia visual (fotográfica) u Observación
Existencia de afección en los pozos de control del exterior del vaso		X	No hay presencia de pozos de control del exterior del vaso
Existencia de un programa y registros del mantenimiento del botadero		X	Al ser un botadero informal, este no cuenta con un programa y registros del mantenimiento.
	SI	NO	Evidencia visual (fotográfica)
Existencia de un sistema de evacuación de lixiviados.		X	

Nota. Valores: 1 [SI] / 2 [NO]. Fuente: Elaboración propia con base en (García de Cortázar et al., 2015).

Anexo 03: Georeferencia Del Área De Estudio

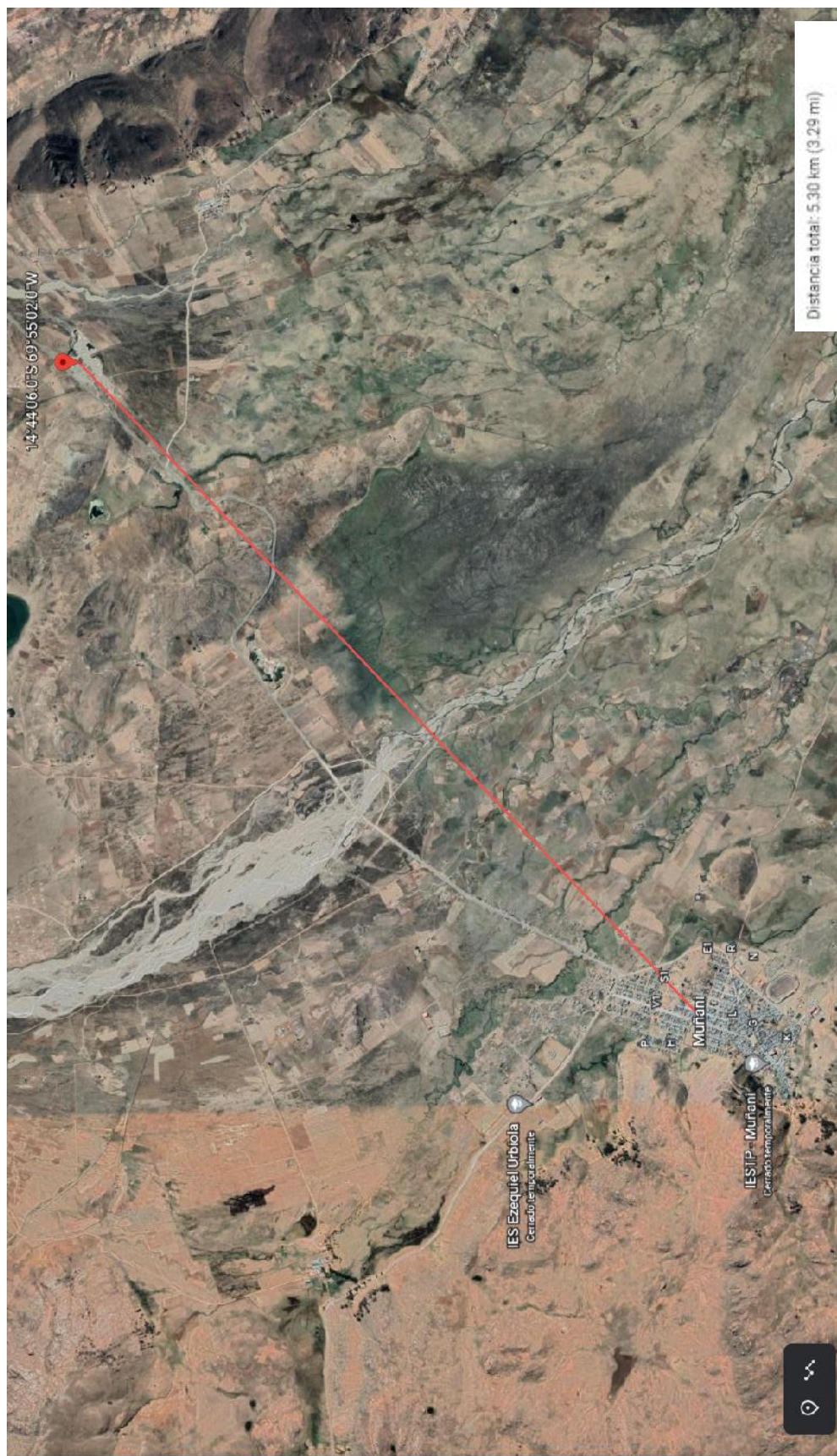
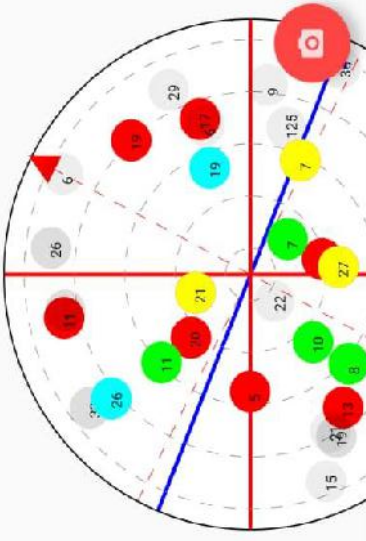
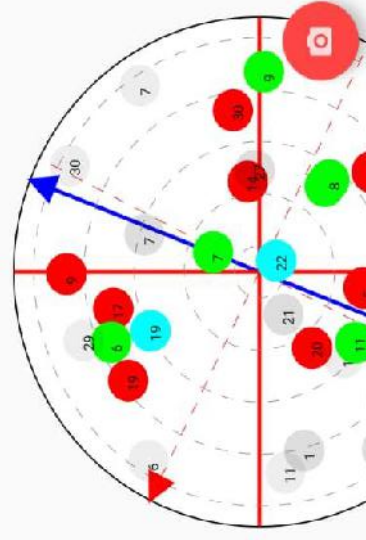
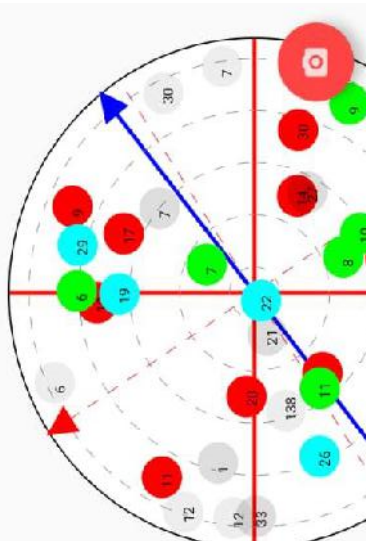


Figura 25: Área de influencia del botadero y zona poblada del distrito Muñani
Nota. Imagen extraída de Google Earth Pro. Datos de distancia en Km extraídos de Google maps.

GEOLOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
<p>Coordenadas</p> <p>Lat Long -14.7353062, -69.916187 UTM 401379.253E 8370749.408N 19L MGRS 19LDD 01379 70749 EPSG:4326 -69.916187 -14.7353062 Elevación 4000.5 m Elev. (msl) 3953.76 m asl. Exactitud 3.9 m Ángulo 192.07° Declinación: -8.16° Velocidad 0.94 km/h P/H/V DOP 1.17/0.84/0.82</p> <p>Copiar Compartir Guardar</p> <p>Vista satelital del cielo</p> <p>Cambiar de objetivo</p> <p>Objetivo: 0,0 Rociamiento de destino: 84.768494° E Distancia del blanco: 7.857.886.5 m</p> 	<p>Coordenadas</p> <p>Lat Long -14.7349371, -69.9170234 UTM 401289.048E 8370789.869N 19L MGRS 19LDD 01289 70790 EPSG:4326 -69.9170234 -14.7349371 Elevación 3995.1 m Elev. (msl) 3948.36 m asl. Exactitud 3.5 m Ángulo 0.0° Declinación: -8.16° Velocidad 0.26 km/h P/H/V DOP 1.22/0.88/0.84</p> <p>Copiar Compartir Guardar</p> <p>Vista satelital del cielo</p> <p>Cambiar de objetivo</p> <p>Objetivo: 0,0 Rociamiento de destino: 84.76886° E Distancia del blanco: 7.857.972.5 m</p> 	<p>Coordenadas</p> <p>Lat Long -14.7343475, -69.9188295 UTM 401094.354E 8370854.295N 19L MGRS 19LDD 01094 70854 EPSG:4326 -69.9188295 -14.7343475 Elevación 3992.7 m Elev. (msl) 3945.96 m asl. Exactitud 4.77 m Ángulo 215.61° Declinación: -8.16° Velocidad 0.47 km/h P/H/V DOP 0.89/0.58/0.67</p> <p>Copiar Compartir Guardar</p> <p>Vista satelital del cielo</p> <p>Cambiar de objetivo</p> <p>Objetivo: 0,0 Rociamiento de destino: 84.769592° E Distancia del blanco: 7.858.150 m</p> 
<p>fecha: 12/05/2023 Hora: 2: 14 PM.</p>	<p>Fecha: 12/05/2023 Hora: 2: 17 PM.</p>	<p>Fecha: 12/05/2023 Hora: 2: 31 PM.</p>

DISTANCIAS ENTRE PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.

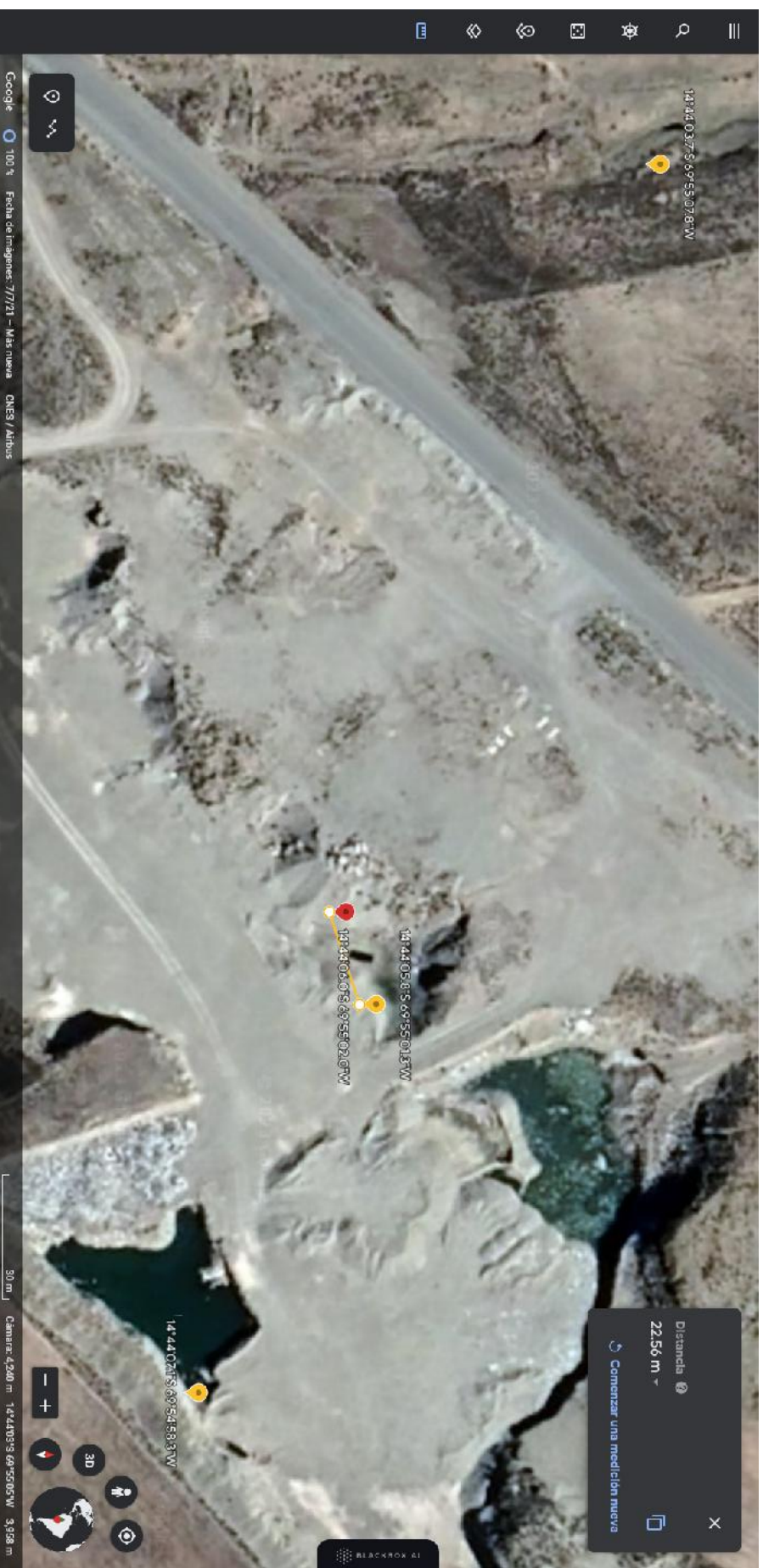
I. Punto de extracción de la primera muestra:



Nota. Imagen extraída de Google Earth Pro.

- La distancia entre el punto de extracción de la muestra 01 y el centro del botadero fue de 116.53 metros.

II. Punto de extracción de la segunda muestra:



Nota. Imagen extraída de Google Earth Pro.

- La distancia entre el punto de extracción de la muestra 02 y el centro del botadero fue de 22.56 metros.

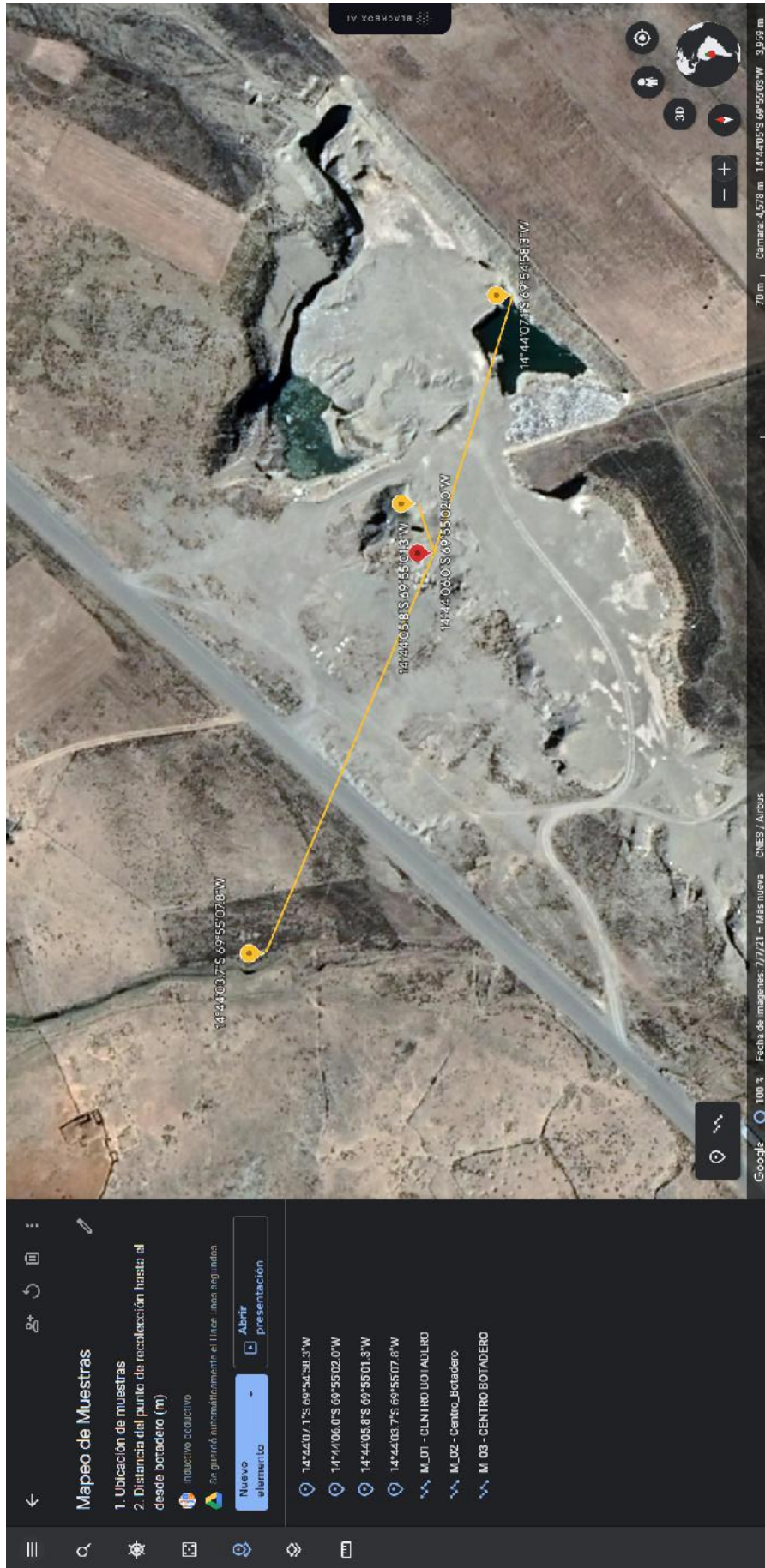
III. Punto de extracción de la tercera muestra:



Nota. Imagen extraída de Google Earth Pro.

- La distancia entre el punto de extracción de la muestra 03 y el centro del botadero fue de 187.46 metros.

III. Distancias entre los punto de extracción de la 03 muestras:



Nota. Imagen extraída de Google Earth Pro.

Anexo 04: Certificado De Análisis Físico-Químico



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Lidia Nieves Nieves Gómez Quispe.
 INTERESADOS : Lidia Nieves Nieves Gómez Quispe.
 DIRECCION : Comunidad Huasacona Sector Viluyo Distrito Muñani
 Prov. : Azángaro Depart. Puno.
 PROCEDENCIA : Sector Viluyo.
 PRODUCTO : Agua de Pozos.
 TIPO DE ANALISIS : Varios.
 N° DE ANALISIS : 03.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 de Mayo del 2023.
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 31 de Mayo del 2023.

N°	Determinaciones Clave	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
01	pH	7,65	7,62	7,52
02	Conductividad Eléctrica uS/cm	121,2	120,6	116,7
03	Alcalinidad mg/L	169,33	215,00	144,90
04	Cloruros mg/L	35,46	24,82	17,73
05	Potasio mg/L	14,03	21,20	13,23
06	Sodio mg/L	5,53	3,00	4,80
07	Cromo mg/L	0,000	0,010	0,000
08	Mercurio mg/L	0,000	0,000	0,000
09	Sulfatos mg/L	42,02	44,02	46,02
10	Amoniaco mg/L	3,21	4,80	2,63
11	Carbono Orgánico (COT)	16,8	23,00	12,40

Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:

EPA 1994, Method 200.7, revisión 4.4. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE GAYHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Analisis
SALCEDO

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
 T: (051) 363 812
 www.inia.gob.pe
 www.minagri.gob.pe

Anexo 05: ECA-MINAM-2012



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Viceministerio
de Gestión Ambiental

**MINISTERIO DEL AMBIENTE
VICEMINISTERIO DE GESTIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD AMBIENTAL**



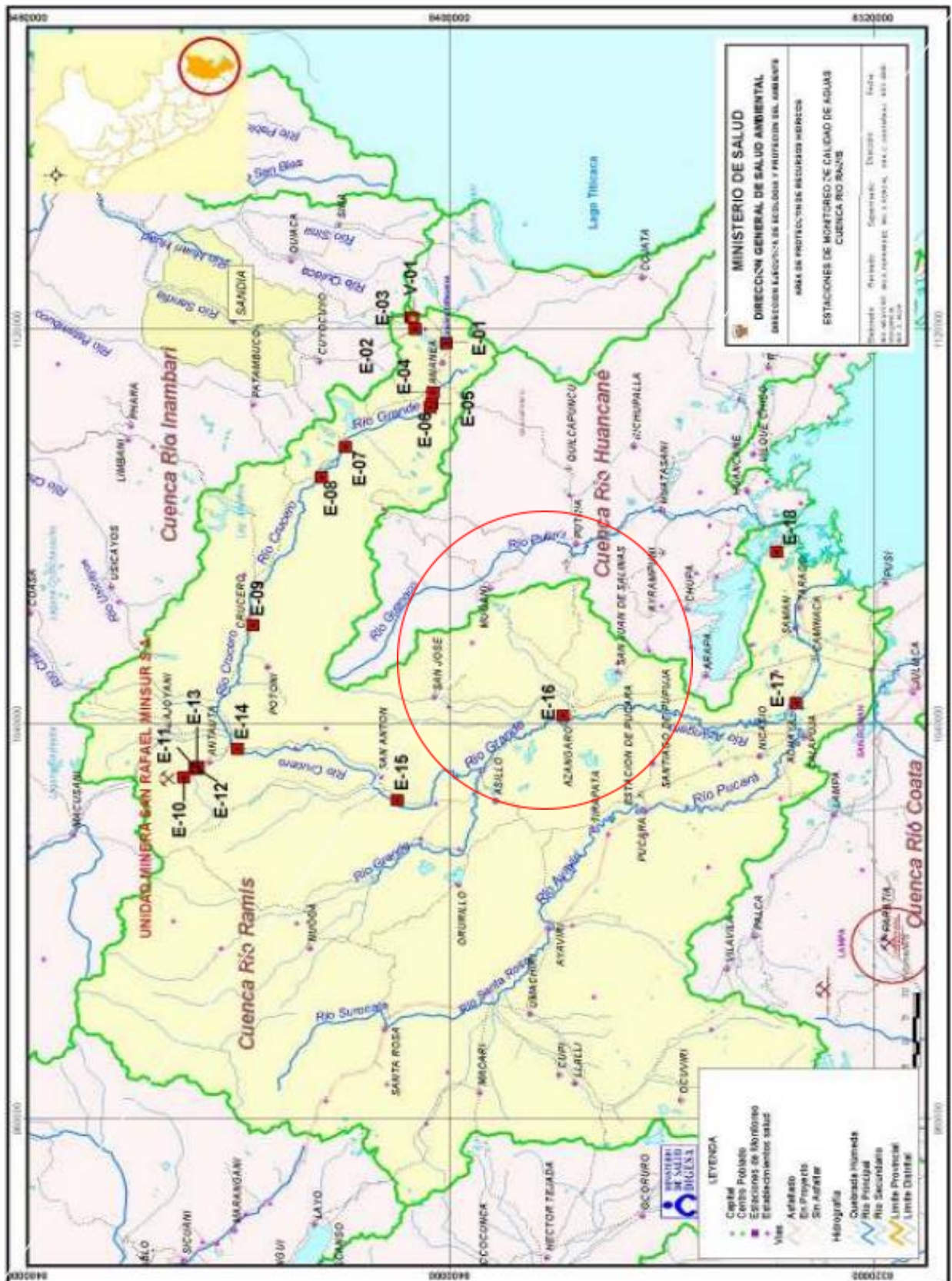
**Propuesta de Estándares Nacionales
de Calidad Ambiental para Agua
Subterránea**

Ing. Edwin N. Mamani Vilcapaza

Lima - 2012

Fuente: <https://es.slideshare.net/henrycr80/propuesta-calidad-agua-subterranea>

Anexo 06: Valle Ramis



Fuente: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2008/RIO_RAMIS.pdf

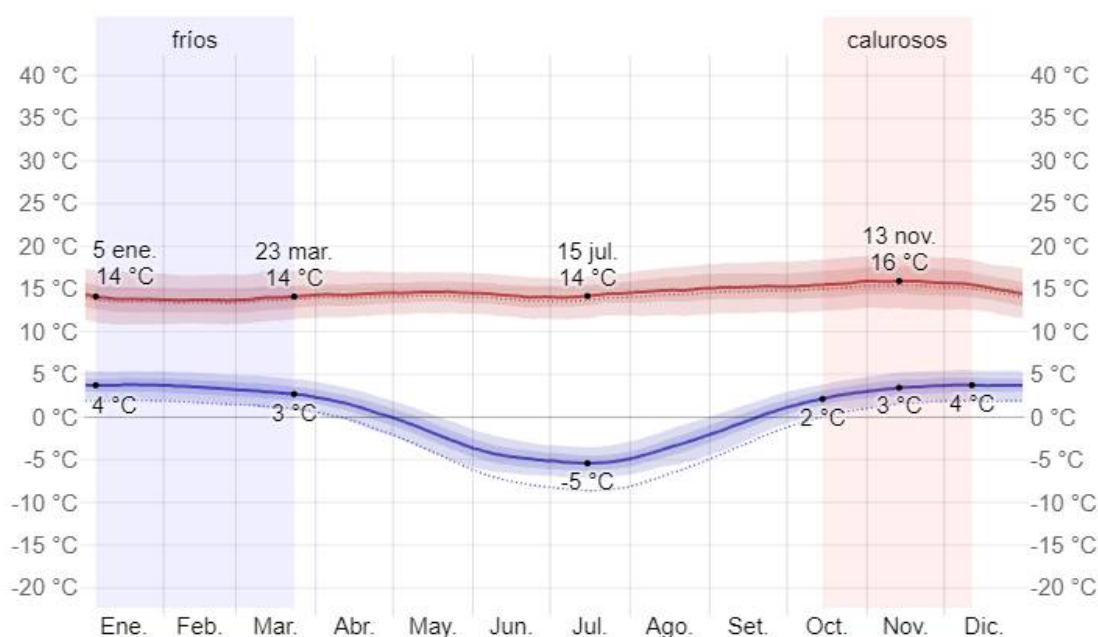
Anexo 07: Temperatura Promedio En Muñani

Características del lugar de estudio:

Mes = Mayo
 Datos históricos = 8 años
 Región = Puno
 Provincia = Azángaro
 Distrito = Muñani

Temperatura máxima y mínima promedio en Muñani:

Datos históricos: 2023 2022 2021 2020 2019 2018 2017 2016



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Temperatura promedio mensual multianual:

Promedio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Máxima	14 °C	14 °C	14 °C	14 °C	15 °C	14 °C	14 °C	15 °C	15 °C	16 °C	16 °C	15 °C
Temp.	8 °C	8 °C	8 °C	8 °C	7 °C	5 °C	5 °C	6 °C	8 °C	9 °C	9 °C	9 °C
Mínima	4 °C	3 °C	3 °C	1 °C	-2 °C	-5 °C	-5 °C	-3 °C	-0 °C	2 °C	3 °C	4 °C

Base de datos de Weather Spark:

<https://es.weatherspark.com/y/27084/Clima-promedio-en-Mu%C3%B1ani-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Temperature>

Anexo 08: Conversión De Valores De Conductividad Eléctrica

Tabla 30: Inventarios Adicionales de Aguas Subterráneas en el Perú

PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	VALLE MALA	VALLE PATIVILCA	VALLE SAN JUAN (CHINCHA)	VALLE VIRÚ	VALLE RAMIS	PROMEDIOS GENERALES
AÑO DE PUBLICACION		2006	2002	2005	2000	1998	2004	
SUSTANCIAS EVALUADAS								
Conductividad	mmhos/cm	-	0,28 – 1,8	0,90 – 1,29	0,80 – 1,40	0,53 – 1,65	0,85 – 1,56	0,67- 1,50

Equivalencias para la conductividad eléctrica:

- $0.1 S/m = 1 dS/m$
- $0.001 S/cm = 1 mS/cm$
- $0.000001 S/cm = 1 \mu S/cm$
- $0.000001 S/cm = 1 \mu S/cm$
- $1 mho/cm = 1 S/cm \rightarrow 1 mmho/cm = 1 mS/cm$

Valor Referencial N° 01:

- **1ra Conversión:**

Si, $1 mmho/cm = 1 mS/cm \rightarrow 0.85 mmho/cm = 0.85 mS/cm$

Entonces;

$$0.001 S/cm \rightarrow 1 mS/cm$$

$$x S/cm \rightarrow 0.85 mS/cm$$

Por lo tanto; $x = 85 \cdot 10^{-5} S/cm$

- **2ra Conversión:**

Si, $0.000001 S/cm = 1 \mu S/cm$

Entonces;

$$1 \cdot 10^{-6} S/cm \rightarrow 1 \mu S/cm$$

$$85 \cdot 10^{-5} S/cm \rightarrow x \mu S/cm$$

Por lo tanto; $x = 850 \mu S/cm$

Convertidor de conductividad eléctrica ▼

1 microsiemens/centímetro [$\mu S/cm$, uS/cm] = 0,1 milisiemens/metro [mS/m]

0. milisiemens/centímetro = 0 microsiemens/centímetro

0.85 milisiemens/centímetro = 850 microsiemens/centímetro

0.85 milisiemens/centímetro = 850 microsiemens/centímetro

De:

- statmho/metro
- statmho/centímetro
- siemens/centímetro
- milisiemens/metro
- milisiemens/centímetro**
- microsiemens/metro
- microsiemens/centímetro

A:

- microsiemens/centímetro
- milisiemens/metro
- milisiemens/centímetro
- microsiemens/metro
- microsiemens/centímetro**
- unidad de conductividad eléctrica
- factor de conductividad
- partes por millón, escala de 700

Valor Referencial N° 02:

- **1ra Conversión:**

Si, $1 \text{ mmho/cm} = 1 \text{ mS/cm} \rightarrow 1.56 \text{ mmho/cm} = 1.56 \text{ mS/cm}$

Entonces;

$$0.001 \text{ S/cm} \rightarrow 1 \text{ mS/cm}$$

$$x \text{ S/cm} \rightarrow 1.56 \text{ mS/cm}$$

Por lo tanto; $x = 156 \cdot 10^{-5} \text{ S/cm}$

- **2ra Conversión:**

Si, $0.000001 \text{ S/cm} = 1 \mu\text{S/cm}$

Entonces;

$$1 \cdot 10^{-6} \text{ S/cm} \rightarrow 1 \mu\text{S/cm}$$

$$156 \cdot 10^{-5} \text{ S/cm} \rightarrow x \mu\text{S/cm}$$

Por lo tanto; $x = 1560 \mu\text{S/cm}$

Convertidor de conductividad eléctrica

1 microsiemens/centímetro [$\mu\text{S/cm}$, uS/cm] = 0,1 milisiemens/metro [mS/m]

0. milisiemens/centímetro = 0 microsiemens/centímetro

0.85 milisiemens/centímetro = 850 microsiemens/centímetro

1.56 milisiemens/centímetro = 1560 microsiemens/centímetro

1.56 milisiemens/centímetro = 1560 microsiemens/centímetro

De:

1.56

statmho/metro
statmho/centímetro
siemens/centímetro
milisiemens/metro
milisiemens/centímetro
microsiemens/metro
microsiemens/centímetro

A:

1560

siemens/centímetro
milisiemens/metro
milisiemens/centímetro
microsiemens/metro
microsiemens/centímetro
unidad de conductividad eléctrica
factor de conductividad
partes por millón, escala de 700

Software convertidor de Unidades de medida para la Conductividad electrica:

<https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/electric-conductivity/13-10/microsiemens/centimeter-milisiemens/meter/>

Anexo 09: Comparativa Eca-Minam-2012 Para Aguas Subterráneas

**CUADRO RESUMEN DE VALORES REFERENCIALES
PROPORCIONADOS POR ECA-MINAM-2012**

N°	Lixiviados	Muestras			ECA-MINAM-2012					
		Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*	VALLE RAMIS		VALORES GENERALES			
					Min	Max	A-1	A-2	B	C
1	Conductividad (μ S/cm)	121.2	120.6	116.7	850	1560	-	-	-	-
	Turbidez (NTU)	-	-	-	SD	SD	-	-	-	-
	Temperatura (°C)	7	7	7	SD	SD	-	-	-	-
2	Ph	7.65	7.62	7.52	6.50	8.20	-	-	-	-
	Alcalinidad (mg/L)	169.33	215.00	144.9	SD	SD	-	-	-	-
	Cloruro (mg/L)	35.46	24.82	17.73	8.90	203.30	-	-	-	-
3	(COT)	16.80	23.00	12.40	SD	SD	-	-	-	-
4	K+ (mg/L)	14.03	21.20	13.23	SD	SD	-	-	-	-
	N-NH3 (mg/L)	3.21	4.80	2.63	SD	SD	-	-	-	-
	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	42.02	44.02	46.02	20	210	-	-	-	-
	Na+ (mg/L)	5.53	3.00	4.80	40.71	117.30	-	-	-	-
5	Cr (mg/L)	0.00	0.010	0.00	SD	SD	-	-	-	-
	Hg (mg/L)	0.00	0.00	0.00	-	-	0.001	0.002	0.001	0.002

Nota. Elaboración propia. Rojo: valores referenciales sin determinar. Verde: valores referenciales proporcionados.

Anexo 10: Índice De Calidad Del Agua (WQI)

Para determinar el índice de calidad de agua por cada parámetro examinado, se siguió el protocolo de (Ansah et al., 2020).

Protocolo:

- En primer lugar, se determinó la media de las concentraciones de las 03 muestras.
- En segundo lugar, a cada muestra se le asignó un peso (w_i). A los parámetros que tienen el mayor efecto sobre la calidad del agua se les asignó el valor más alto de 5, mientras que a los que tienen efectos menores se les asignó el valor más bajo de 1.
- En tercer lugar, se estimó un peso relativo (W_i).
Los valores de W_i se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots\dots\dots (I)$$

n: número de parámetros considerados.

- En cuarto lugar, se estimó una escala de calificación de calidad (q_i)
Los valores de q_i se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \dots\dots\dots (II)$$

C_i : concentración media por parámetro del agua
 S_i : ECAs Standar

- En quinto lugar, se estimó los WQI por parámetro examinado
Los valores de WQI se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$WQI = \sum_{i=1}^n q_i \times W_i \dots\dots\dots (III)$$

Calificación y tipo de calidad del agua:

Rango WQI	Calificación de la calidad del agua
<50	excelente agua
50–100	buena agua
100–200	agua pobre
200–300	agua muy mala
>300	Agua no apta para beber

Datos Históricos:

N°	Parámetros	Muestras			Media	ECAs
		Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*		Max
1	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	121.2	120.6	116.7	119.50	1560
	Turbidez (NTU)	-	-	-	-	SD

N°	Parámetros	Muestras			Media	ECAs
		Muestra 01*	Muestra 02*	Muestra 03*		Max
	Temperatura (°C)	7	7	7	7.00	10.00
2	Ph	7.65	7.62	7.52	7.60	8.20
	Alcalinidad (mg/L)	169.33	215.00	144.9	176.41	309.4
	Cloruro (mg/L)	35.46	24.82	17.73	26.00	203.30
3	(COT)	16.80	23.00	12.40	17.40	10.00
4	K+ (mg/L)	14.03	21.20	13.23	16.15	10.00
	N-NH ₃ (mg/L)	3.21	4.80	2.63	3.55	1.50
	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	42.02	44.02	46.02	44.02	210
	Na+ (mg/L)	5.53	3.00	4.80	4.44	117.30
5	Cr (mg/L)	0.00	0.010	0.00	0.00	0.05
	Hg (mg/L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002

Nota. Elaboración propia.

Resultados WQI

Quality Parameter	Ci	qi	Weight (wi)	Relative Weight (Wi)	WQI
Conductividad (µS/cm)	119.50	7.66	3	0.071	60
Turbidez (NTU)	-	-	4	0.095	-
Temperatura (°C)	7.00	70.00	3	0.071	60
pH	7.60	92.64	5	0.119	100
Alcalinidad (mg/L)	176.41	57.02	3	0.071	60
Cloruro (mg/L)	26.00	12.79	3	0.071	60
(COT)	17.40	174.00	3	0.071	60
K+ (mg/L)	16.15	161.53	2	0.048	40
N-NH ₃ (mg/L)	3.55	236.44	4	0.095	80
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	44.02	20.96	3	0.071	60
Na+ (mg/L)	4.44	3.79	2	0.048	40
Cr (mg/L)	0.00	6.67	2	0.048	40
Hg (mg/L)	0.00	0.00	5	0.119	100
		835.84	42	1.000	

Nota. Elaboración propia.

Anexo 11: Incertidumbre O Variabilidad (\pm)

MUESTRA	PARÁMETROS							Promedio	Incerteza	Variabilidad en torno al valor promedio (\pm)
	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	DESVESTA			
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	121.2	119.50	1.70	2.8900				119.50	2.44	119.50 \pm 2.44
Muestra 02	120.6	119.50	1.10	1.2100	DESVESTA					
Muestra 03	116.7	119.50	-2.80	7.8400						
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	7	7	0	0				7	0	7
Muestra 02	7	7	0	0	DESVESTA					
Muestra 03	7	7	0	0						
Ph										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	7.65	7.60	0.05	0.0028				7.60	0.07	7.60 \pm 0.07
Muestra 02	7.62	7.60	0.02	0.0005	DESVESTA					
Muestra 03	7.52	7.60	-0.08	0.0059						

MUESTRA	PARÁMETROS							Promedio	Incerteza	Variabilidad en torno al valor promedio (\pm)
Alcalinidad (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	169.33	176.41	-7.08	50.1264	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$					
Muestra 02	215	176.41	38.59	1489.1881	DESVESTA					
Muestra 03	144.9	176.41	-31.51	992.8801						
							176.41	35.58		176.41 \pm 35.58
Cloruro (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	35.46	26.00	9.46	89.4285	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$					
Muestra 02	24.82	26.00	-1.18	1.4003	DESVESTA					
Muestra 03	17.73	26.00	-8.27	68.4480						
							26.00	8.92		26 \pm 8.92
COT										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	16.80	17.40	-0.60	0.3600	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$					
Muestra 02	23.00	17.40	5.60	31.3600	DESVESTA					
Muestra 03	12.40	17.40	-5.00	25.0000						
							17.40	5.33		17.40 \pm 5.33

MUESTRA	PARÁMETROS							Promedio	Incerteza	Variabilidad en torno al valor promedio (\pm)
K⁺ (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA	SUMA				
Muestra 01	14.03	16.15	-2.12	4.5085	$\Sigma([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	19.2616	16.15	4.39	16.15 \pm 4.39	
Muestra 02	21.20	16.15	5.05	25.4688	DESVESTA	4.39				
Muestra 03	13.23	16.15	-2.92	8.5459						
N-NH₃ (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA	SUMA				
Muestra 01	3.21	3.55	-0.34	0.1133	$\Sigma([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	1.2622	3.55	1.12	3.55 \pm 1.12	
Muestra 02	4.80	3.55	1.25	1.5708	DESVESTA	1.12				
Muestra 03	2.63	3.55	-0.92	0.8403						
SO₄²⁻ (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA	SUMA				
Muestra 01	42.02	44.02	-2.00	4.00	$\Sigma([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	4.0	44.02	2.00	44.02 \pm 2	
Muestra 02	44.02	44.02	0.00	0.00	DESVESTA	2.0				
Muestra 03	46.02	44.02	2.00	4.00						

MUESTRA	PARÁMETROS							Promedio	Incerteza	Variabilidad en torno al valor promedio (\pm)
	Na+ (mg/L)									
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	5.53	4.44	1.09	1.1808	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	1.6956	4.44	1.30	4.44 \pm 1.30	
Muestra 02	3.00	4.44	-1.44	2.0832	DESVESTA	1.30				
Muestra 03	4.80	4.44	0.36	0.1272						
Cr (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	0.00	0.00	0.00	0.0000	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	0.0000	0.00	0.01	0.00 \pm 0.01	
Muestra 02	0.010	0.00	0.01	0.0000	DESVESTA	0.01				
Muestra 03	0.00	0.00	0.00	0.0000						
Hg (mg/L)										
Muestras	xi	\bar{X}	$[xi - \bar{X}]$	$[xi - \bar{X}]^2$	SUMA					
Muestra 01	0.00	0.00	0.00	0.0000	$\sum([xi - \bar{X}]^2)/n-1$	0.0000	0.00	0.00	0	
Muestra 02	0.00	0.00	0.00	0.0000	DESVESTA	0.00				
Muestra 03	0.00	0.00	0.00	0.0000						