



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**APLICACIÓN DE LA GEOQUÍMICA DE SUELOS PARA
ESTUDIOS AMBIENTALES EN LAS COMUNIDADES DE
ESTACIÓN ILLPA, SANTA BÁRBARA Y LECHIJUMA- PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. KARLA VANESSA QUISPE ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2024



KARLA VANESSA QUISPE ROJAS

APLICACIÓN DE LA GEOQUÍMICA DE SUELOS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN LAS COMUNIDADES DE ESTACI...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:416879971

Fecha de entrega
17 dic 2024, 6:15 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
17 dic 2024, 6:23 a.m. GMT-5

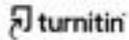
Nombre de archivo
Quispe_Rojas_Karla_Vanessa.docx

Tamaño de archivo
6.4 MB

99 Páginas

14,644 Palabras

80,706 Caracteres



12% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Prof. Dr. Miguel Elias Calpina Benique
Ing. Geólogo - MSc. Geoquímica
UNA - PUNO





DEDICATORIA

A mis padres, Ing. Nicolás Quispe Hurtado y Prof. Concepción Rojas Calla.

Quienes me dieron la fortaleza para lograr mis metas. El éxito de mi vida está ligado a ellos. Es un orgullo y privilegio ser su hija, gracias por ser los mejores padres.

Con mucho amor, a mis hermanas Leidy Karen y Nélica Yovanna, son ellas el pilar fundamental en mi vida. Gracias por ser mis mejores amigas.

Con afecto y cariño a Felicitas Calla Pineda, por su apoyo incondicional y sabios consejos.

A mis tíos, primos, sobrinos y demás familiares que han contribuido de forma callada pero excepcional en el éxito de este trabajo de investigación.

Karla Vanessa Quispe Rojas



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la gracia de la vida.

Con profundo agradecimiento a mi Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica.

A mi Asesor de Tesis, D.Sc. Ing. Miguel Elias Calcina Benique, por su orientación y éxito del presente trabajo de investigación.

A los miembros del Jurado: D.Sc. Newton Victor Machaca Cusilayme, D.Sc. Jaime Cesar Rodrigo Martinez y M.Sc. Jorge Luis Paredes Polanco, por su disposición y sugerencias para la culminación del trabajo de Tesis.

Al D.Sc Victoriano Rolando Apaza Campos, D.Sc. Andrés Olivera Chura y D.Sc. Leonel Palomino Ascencio, por sus enseñanzas, motivación y recomendaciones para la elaboración de la presente Tesis.

A todos los Ingenieros Geólogos que fueron mis docentes en la etapa de pregrado, por sus enseñanzas las cuales han consolidado mi formación profesional.

Gracias infinitas a todas las personas que han aportado a mi formación profesional y personal.

Karla Vanessa Quispe Rojas



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1.1 Identificación del problema	19
1.1.2 Valoración del problema.....	19
1.1.3 Formulación del problema	20
1.1.3.1 Problema general	20
1.1.3.2 Problemas específicos.....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES.....	22



2.1.1	Internacionales	22
2.1.2	Nacionales.....	23
2.1.3	Locales	27
2.2	MARCO TEÓRICO	28
2.2.1	Geoquímica Ambiental	28
2.2.2	Elementos Traza.....	28
2.2.3	Suelo	28
2.2.3.1	Parámetros Físico-químicos.....	29
2.2.4	Metales Pesados	29
2.2.4.1	Arsénico (As).....	30
2.2.4.2	Bario (Ba)	30
2.2.4.3	Cadmio (Cd)	31
2.2.4.4	Mercurio (Hg).....	31
2.2.4.5	Plomo (Pb).....	32
2.2.5	Importancia de los análisis de metales pesados en suelos	32
2.2.6	Normatividad Legal	33
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1	Tipo de investigación.....	36
3.1.2	Diseño de muestreo.....	36
3.1.3	Población y tamaño de muestra	37
3.1.4	Diseño de metodología por objetivos específicos.....	37
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	38
3.2.1	Técnicas de análisis de datos	39



3.2.1.1	Pre campo	39
3.2.1.2	Campo	40
3.2.1.2.1	Puntos de muestreo:	40
3.2.1.2.2	Tipo De Muestreo.....	41
3.2.1.2.3	Recolección de muestras y preparación	41
3.2.1.3	Procedimiento analítico ICP-OES	45
3.2.1.4	Gabinete	46

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN	47
4.1.1	Ubicación política	47
4.1.2	Ubicación Geográfica	47
4.2	ACCESIBILIDAD	48
4.3	POBLACIÓN	48
4.4	DIVISIÓN ADMINISTRATIVA	48
4.5	GEOLOGÍA	49
4.5.1	Formación Huancané (Ki-hn)	49
4.5.2	Formación Ayabacas (Kis-ay)	51
4.5.3	Formación Muñani (P-mu)	52
4.5.4	Grupo Puno (P-pu).....	54
4.5.5	Formación Umayo (N-um/tqb,ab)	55
4.5.6	Grupo Barroso (NQ-b-aba)	56
4.5.7	Cuaternario Aluvial (Qh-al).....	58
4.5.8	Intrusivo de composición diorítica (N-di).....	59
4.5.9	Intrusivo de composición monzogranítica (N-mgr).....	60



4.6 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 60

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**5.1 RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS
POR EL MÉTODO ICP-OES PARA SUELOS 62**

**5.2 RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL SUELO SEGÚN LAS
CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS (As, Ba, Cd, Hg y
Pb) CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECAs) PARA
SUELOS DE USO AGRÍCOLA..... 63**

5.2.1 Arsénico 64

5.2.2 Bario..... 66

5.2.3 Cadmio..... 67

5.2.4 Mercurio..... 68

5.2.5 Plomo 70

5.2.6 MUESTRAS EXCEDENTES A LOS ECA 71

**5.3 RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS DE LOS SUELOS 71**

5.3.1 Ph 71

5.3.2 Conductividad Eléctrica..... 73

5.3.3 Materia Orgánica 75

5.3.4 Nitrógeno 76

5.3.5 Fósforo 78

5.3.6 Potasio..... 80

5.3.7 Carbonatos de Calcio Equivalente 81

5.3.8 Capacidad de Intercambio Catiónico 83



5.3.9	Análisis de textura.....	84
5.3.9.1	Arena.....	85
5.3.9.2	Limo.....	86
5.3.9.3	Arcilla	87
5.3.10	Clase Textural	88
VI.	CONCLUSIONES.....	90
VII.	RECOMENDACIONES	91
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS	96

Área:

Tema:

Fecha de sustentación



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Área de muestreo delimitada.	41
Figura 2 Limpieza del área a muestrear.	43
Figura 3 Excavación para el muestreo.	43
Figura 4 Recolección de muestra.	44
Figura 5 Etiquetado de muestras.	44
Figura 6 Fin del muestreo.	45
Figura 7 Formación Huancané.	50
Figura 8 Calizas de la Formación Ayabacas.	52
Figura 9 Intercalación de lutitas con areniscas de la Formación Muñani.	53
Figura 10 Intercalación de areniscas y conglomerados del Grupo Puno.	55
Figura 11 Traquiandesitas de la Formación Umayo.	56
Figura 12 Grupo Barroso.	58
Figura 13 Cuaternario aluvial.	59
Figura 14 Resultado Arsénico.	65
Figura 15 Resultado Bario.	66
Figura 16 Resultado Cadmio.	68
Figura 17 Resultado Mercurio.	69
Figura 18 Resultado Plomo.	70
Figura 19 Promedio pH del suelo.	72
Figura 20 Promedio Conductividad Eléctrica del suelo.	74
Figura 21 Promedio Materia orgánica del suelo.	76
Figura 22 Promedio Nitrógeno del suelo.	78
Figura 23 Promedio Fósforo del suelo.	79



Figura 24	Promedio Potasio del suelo.....	81
Figura 25	Promedio para Carbonatos de Calcio Equivalentes del suelo.	82
Figura 26	Promedio para la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.	84
Figura 27	Promedio % Arena.....	86
Figura 28	Promedio % Limo.....	87
Figura 29	Promedio % Arcilla.	88
Figura 30	Triángulo estructural de USDA.	89



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.	35
Tabla 2 Variables analizadas por objetivos específicos.	37
Tabla 3 Materiales, instrumentos, equipos y laboratorios en la etapa de campo y gabinete.....	38
Tabla 4 Resultados según ICP-OES para punto de muestreo: Caracoto, según INGEMMET.	40
Tabla 5 Coordenadas de los puntos de muestreo.	41
Tabla 6 Ubicación política del área de estudio.	47
Tabla 7 Ubicación geográfica del área de estudio.	47
Tabla 8 Accesibilidad al área de estudio.	48
Tabla 9 Población del distrito de Paucarcolla.....	48
Tabla 10 Centros poblados y comunidades del distrito de Paucarcolla.....	49
Tabla 11 Columna estratigráfica del distrito de Paucarcolla.	60
Tabla 12 Resultados de la concentración de metales pesados por el Método ICP-OES.	62
Tabla 13 Estándares de calidad ambiental (ECAs) para suelo.	63
Tabla 14 Datos descriptivos para el Nivel superficial.	63
Tabla 16 Resultados Arsénico vs ECA.....	65
Tabla 18 Resultados Bario vs ECA.	66
Tabla 20 Resultados Cadmio vs ECA	68
Tabla 22 Resultados Mercurio vs ECA.	69
Tabla 24 Resultados Plomo vs ECA.....	70
Tabla 25 Resultado pH del suelo.	72



Tabla 26	Clasificación de suelos según valor de pH.	73
Tabla 27	Resultado Conductividad Eléctrica del suelo.	74
Tabla 28	Clasificación de suelos según valor de Conductividad Eléctrica (CE).....	74
Tabla 29	Resultado Materia orgánica.	75
Tabla 30	Clasificación de suelos según valor de Materia Orgánica (MO).....	76
Tabla 31	Resultado Nitrógeno.	77
Tabla 32	Resultado Fósforo.	79
Tabla 33	Clasificación de suelos según valor de Fósforo(F).....	80
Tabla 34	Resultado Fósforo.	80
Tabla 35	Resultado para Carbonatos de Calcio Equivalentes.	82
Tabla 36	Resultado para la Capacidad de Intercambio Catiónico.	83
Tabla 37	Clasificación de suelos según valor de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	84
Tabla 38	Resultado % Arena.	85
Tabla 39	Resultado % Limo.	86
Tabla 40	Resultado % Arcilla.....	87



ACRÓNIMOS

- ACT LABS : Actlabs-Skyline Perú
- Al : Aluminio
- As : Arsénico
- Ba : Bario
- CCE : Carbonatos de Calcio Equivalente
- Cd : Cadmio
- CE : Conductividad eléctrica
- CIC : Capacidad de intercambio catiónico
- Cm : Centímetros
- Cr : Cromo
- Cu : Cobre
- ECA : Estándares de Calidad Ambiental
- F : Fósforo
- Fe : Hierro
- GPS : Sistema de Posicionamiento Global
- Ha : Hectáreas
- Hg : Mercurio
- ICP-MS : Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente
- ICP-OES : Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo
- INEI : Instituto de estadística e informativa
- INGEMMET : Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico



- INIA : Instituto Nacional de Innovación Agraria
- K : Potasio
- Kg : Kilógramos
- Km : Kilómetros
- Km² : Kilómetros cuadrados
- LAS : Laboratorios Analíticos del Sur
- MINAM : Ministerio del Ambiente
- Mn : Manganeso
- Mo : Materia orgánica
- Msnm : Metros sobre el nivel del mar
- Ni : Níquel
- OMS : Organización Mundial de la Salud
- Pb : Plomo
- Ph : Potencial de hidrógeno
- Ppm : Partes por millón
- Sb : Antimonio
- SIG : Sistema de información geográfica
- UTM : Universal Transversal de Mercator
- WGS84 : World Geodetic System 1984
- Zn : Zinc



RESUMEN

Las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma, en el distrito de Paucarcolla, provincia de Puno, enfrentan una problemática ambiental significativa debido a la falta de estudios sobre metales pesados en el suelo. La acumulación de estos metales representa un grave riesgo para la salud humana, especialmente cuando sus concentraciones superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La ausencia de investigaciones geoquímicas limita su uso como indicadores clave para la gestión ambiental. Esta tesis tuvo como objetivo aplicar la geoquímica de suelos para generar información ambiental relevante en las comunidades mencionadas. La metodología consideró como población a estas tres comunidades y como muestra, 10 puntos de muestreo seleccionados aleatoriamente. La investigación fue de tipo experimental y se desarrolló en tres fases: gabinete, laboratorio y campo. Las muestras fueron analizadas en los laboratorios LAS, ACT LABS e INIA. Aunque se identificaron 38 analitos, el estudio se centró en los metales pesados más relevantes: arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo. Los resultados, comparados con los ECA de 2017, indicaron lo siguiente: Arsénico de <3 a 79 ppm superando el límite de 50 ppm en dos puntos; bario de 147 a 395 ppm, dentro del límite de 750 ppm; cadmio <1.0 ppm, dentro del límite de 1.4 ppm, plomo de <2 a 142 ppm, excediendo el límite de 70 ppm en un punto y mercurio de <1 a 6 ppm, dentro del límite de 6.6 ppm. Además, la clasificación textural corresponde a un suelo franco. Sus características fisicoquímicas promedio son las siguientes: pH: 7.33, clasificado como neutro, conductividad eléctrica: 5.03, clasificada como normal, materia orgánica: 1.48, clasificada como baja y la capacidad de intercambio catiónico: 18.074, clasificada como media. Se detectaron niveles excedentes de arsénico en Estación Illpa y Santa Bárbara, y de plomo en Lechijuma, lo que indica que los suelos en estas áreas no son aptos para uso agrícola. Este estudio destaca la importancia de realizar evaluaciones ambientales y propone el uso de la geoquímica de suelos como una herramienta esencial para la gestión ambiental y sostenible del suelo.

Palabras clave: Geoquímica de suelos, ECA (Estándares de Calidad Ambiental), Metales pesados, Caracterización fisicoquímica.



ABSTRACT

The communities of Estación Illpa, Santa Bárbara and Lechijuma, in the district of Paucarcolla, province of Puno, face significant environmental problems due to the lack of studies on heavy metals in the soil. The accumulation of these metals represents a serious risk to human health, especially when their concentrations exceed the Environmental Quality Standards (ECA). The absence of geochemical research limits their use as key indicators for environmental management. This thesis aimed to apply soil geochemistry to generate relevant environmental information in the aforementioned communities. The methodology considered these three communities as the population and 10 randomly selected sampling points as the sample. The research was experimental and was developed in three phases: office, laboratory and field. The samples were analyzed in the LAS, ACT LABS and INIA laboratories. Although 38 analytes were identified, the study focused on the most relevant heavy metals: arsenic, barium, cadmium, mercury and lead. The results, compared to the 2017 ECA, indicated the following: Arsenic from <3 to 79 ppm exceeding the 50 ppm limit at two points; barium from 147 to 395 ppm, within the 750 ppm limit; cadmium <1.0 ppm, within the 1.4 ppm limit, lead from <2 to 142 ppm, exceeding the 70 ppm limit at one point and mercury from <1 to 6 ppm, within the 6.6 ppm limit. In addition, the textural classification corresponds to a loam soil. Its average physicochemical characteristics are as follows: pH: 7.33, classified as neutral, electrical conductivity: 5.03, classified as normal, organic matter: 1.48, classified as low and cation exchange capacity: 18.074, classified as medium. Excessive levels of arsenic were detected at Estación Illpa and Santa Bárbara, and lead at Lechijuma, indicating that the soils in these areas are not suitable for agricultural use. This study highlights the importance of carrying out environmental assessments and proposes the use of soil geochemistry as an essential tool for environmental and sustainable soil management.

Keywords: Soil geochemistry, ECA (Environmental Quality Standards), Heavy metals, Physicochemical characterization.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Identificación del problema

Las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma, se ubican en el distrito de Paucarcolla, el cual es uno de los 15 distritos de la provincia de Puno. Es accidentada, con pampas, presencia de elevaciones con pendientes fuertes, quebradas, elevaciones pequeñas.

En este distrito, las comunidades arriba mencionadas no cuentan con estudios ambientales previos lo cual no garantiza el aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales como base productiva para su desarrollo.

No hay existencia de registros de estudios en geoquímica de suelos cuyos resultados indican distintos elementos traza presentes en dicho territorio, que definen ciertas zonas aptas para agricultura, minería, entre otras actividades económicas sobre todo proveer un ambiente equilibrado y sostenible para la calidad de vida de los ciudadanos.

1.1.2 Valoración del problema

La falta de estudios de geoquímica de suelos en las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma del distrito de Paucarcolla representa un problema significativo para el desarrollo sostenible del área. Sin estudios geoquímicos del suelo es difícil identificar y caracterizar las áreas con presencia de metales pesados, determinar la aptitud del suelo para diversas actividades



económicas, y establecer medidas de gestión ambiental adecuadas. Esto impide el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos naturales, poniendo en riesgo tanto la productividad económica como la calidad de vida de sus habitantes. La implementación de estudios geoquímicos detallados es crucial para promover un desarrollo equilibrado y sostenible, asegurando un entorno saludable para las generaciones presentes y futuras.

1.1.3 Formulación del problema

1.1.3.1 Problema general

¿La aplicación de la geoquímica de suelos permitirá establecer información precisa y detallada de la calidad y composición del suelo facilitando así el desarrollo de estudios ambientales en las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno?

1.1.3.2 Problemas específicos

¿Existe la presencia de los principales metales pesados en los suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma-Puno?

¿Los niveles de metales pesados encontrados superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales para suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma-Puno?

¿Cuáles son los parámetros físico-químicos más importantes de los suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma-Puno?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La aplicación de la geoquímica de suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma, es esencial para estudios ambientales que permitan la planificación ambiental de manera efectiva. Este enfoque proporciona datos científicos precisos sobre la composición y calidad de los suelos, lo cual es fundamental para identificar áreas aptas para diferentes usos. Además, permite detectar zonas que presentan alta concentración de metales pesados y evaluar la necesidad de medidas de mitigación, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud pública. Sin esta



información, es imposible garantizar el uso sostenible de los recursos naturales, comprometiendo el desarrollo socioeconómico y la calidad de vida de los habitantes. Por lo tanto, la implementación de estudios geoquímicos es una herramienta indispensable para el desarrollo sostenible y equilibrado de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma del departamento de Puno.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Aplicar la geoquímica de suelos para obtener información para estudios ambientales en las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma-Puno.

1.3.2 Objetivos Específicos

Detectar la presencia de los principales metales pesados que se encuentran en los suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno.

Comparar los niveles de metales pesados encontrados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacional para suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno.

Caracterizar los parámetros físico-químicos más importantes de los suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales

Angon et al. (2024) en su artículo mencionan que el objetivo fue explorar la compleja problemática de la contaminación por metales pesados que se encuentran en suelos agrícolas, con un enfoque en sus serias repercusiones para la seguridad alimentaria global, la salud humana y los ecosistemas vegetales, la metodología consistió en revisar diversas bases de datos científicas para obtener información y citas relevantes sobre las causas, consecuencias y perspectivas actuales de esta contaminación en suelos, plantas y la cadena alimentaria humana, los resultados destacaron que la contaminación por la presencia de metales pesados en suelos agrícolas constituye un serio peligro para la salud humana, la salud de las plantas y la seguridad alimentaria global, identificando metales como cromo, níquel, cadmio y plomo, las conclusiones indican que el consumo de productos vegetales contaminados puede comprometer la salud humana, causando enfermedades graves que afectan a varios órganos.

Parviainen et al. (2024) en su artículo mencionan que el objetivo fue analizar la relación mineralógica-química de elementos traza en los suelos urbanos de Minas de Riotinto, en el suroeste de España, y evaluar el riesgo potencial de exposición para los humanos en función de las características de las fracciones total y fina del suelo. La metodología consistió en analizar cómo el desarrollo natural del suelo en el área mineralizada de la Faja Pirítica Ibérica produce



concentraciones significativamente más altas de Ni, Cu, Zn, As, Sb, Ba y Pb en comparación con el suelo de agregados artificiales. Los resultados indicaron que los suelos naturales y mixtos en Minas de Riotinto presentan concentraciones anómalas de elementos traza, especialmente Cu, As, Sb y Pb. Las conclusiones sugieren que cubrir estos suelos naturales con arenas calcáreas podría mejorar la calidad del suelo urbano y reducir el riesgo de exposición humana a estos elementos.

Simatupang et al. (2024) en su artículo indican que el objetivo fue proporcionar información sobre el impacto de la acumulación de metales pesados en la superficie del suelo en áreas circundantes a una pequeña industria en Tailandia, la metodología empleada consistió en analizar los metales traza Mn, Fe, Ni, Cu, Pb, Al, Zn, As y Cr utilizando un analizador XRF portátil. Los resultados mostraron que los sitios industriales presentaban niveles elevados de metales, especialmente plomo, que superaban los estándares nacionales y aumentaban los riesgos para la salud de las personas expuestas. Además, las concentraciones de Al, Zn, As y Cr en un centro de cuidado infantil fueron ligeramente más altas que cerca de la carretera, pero menores que en el área industrial, sugiriendo un impacto potencial de la industria en el centro infantil, las conclusiones destacan la importancia de seleccionar cuidadosamente las ubicaciones para centros de cuidado infantil para garantizar entornos más seguros y saludables, especialmente para los niños.

2.1.2 Nacionales

Saldaña (2020) determina en su tesis que el objetivo fue determinar los niveles de referencia para los metales pesados aluminio, bario, cromo, cobre,



manganeso, plomo y zinc, considerando los niveles de fondo y las propiedades fisicoquímicas del suelo adyacente a la ciudad de Cerro de Pasco. La metodología indica que se utilizó el método de ecuaciones lineales. Se realizó un muestreo estadístico aleatorio simple, obteniendo 21 muestras compuestas de 63 muestras simples y superficiales en una extensión de terreno de 3,201 ha. Obtuvo como resultado que se correlacionaron las concentraciones totales de metales pesados con los parámetros fisicoquímicos del suelo, encontrándose que la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), la materia orgánica (M.O.) y el pH obtuvieron un coeficiente de correlación superior a 0.7 para casi todos los metales evaluados, excepto para cromo, manganeso y plomo. La conclusión indica que las ecuaciones lineales generadas a partir de la C.I.C., M.O. y pH permitieron definir los niveles de referencia para aluminio (24,439 mg/kg), bario (161 mg/kg), cobre (29 mg/kg) y zinc (552 mg/kg), considerando el UCL95 como nivel de fondo, ya que presentó un mejor ajuste estadístico en comparación con los estadísticos descriptivos.

Quispe y Silvestre (2019) indican que su tesis tuvo como objetivo determinar los niveles de concentración de los metales pesados arsénico, mercurio, cadmio, cromo y plomo en el suelo del área de influencia directa del botadero ubicado en el centro poblado de Pampachacra, Huancavelica, la metodología fue de tipo aplicada, con nivel descriptivo, diseño no experimental-transversal y utilizando el método científico. La población estudiada abarcó 13 ha del área de influencia directa del botadero, con una muestra de 20 puntos de muestreo no probabilístico de tipo intencional. El instrumento de recolección de datos fue el espectrofotómetro de absorción atómica. Como resultado se obtuvo que los niveles de concentración de cadmio, plomo y cromo en ambas épocas se encontraron en rangos de 0.9-1.34, 3.6-32.74 y 1.19-60.6 mg/Kg PS,



respectivamente, sin superar los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de uso agrícola. Sin embargo, las concentraciones de arsénico variaron entre 7.6 y 222.4 mg/Kg PS, superando en algunos puntos el límite estándar de 50 mg/Kg PS. En cuanto al mercurio, las concentraciones variaron entre 0.01 y 22.7 mg/Kg PS, también superando el límite estándar de 6.6 mg/Kg PS en algunos puntos. La conclusión fue que las concentraciones de cadmio, plomo y cromo no superan los estándares en ninguna época. Sin embargo, las concentraciones de arsénico y mercurio superan los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de uso agrícola en ciertos puntos.

Salazar (2018) en su tesis indicó que el objetivo fue identificar las limitaciones y deficiencias geológicas de la ciudad de Abancay que impiden un crecimiento urbano ordenado y sostenible, basado en el ordenamiento territorial, la metodología aplicada fue la investigación de tipo descriptivo-analítico, con un diseño de campo-cualitativo y un nivel descriptivo, tuvo como resultado que los sectores más críticos, debido a la extensión de los movimientos en masa, el historial de ocurrencias y la ubicación respecto a la población de Abancay, son: Muyoqcorral, Leonpampa, Fonavi y Limapata, que se encuentran sobre un gran deslizamiento antiguo activo con procesos de asentamiento y reptación de suelos. además, los sectores de Maucacalle, Sahuanay, Antabamba, Bancapata y el casco urbano norte de la ciudad, afectados directamente por la quebrada Sahuanay-Chinchichaca, pueden experimentar un flujo de detritos finalmente, Ccocha, Pumaranza y la zona noreste de Abancay son altamente vulnerables a un nuevo deslizamiento. En la conclusión, indica que la ciudad de Abancay está asentada sobre suelos mayormente gravosos, lo que proporciona cierta seguridad a las infraestructuras civiles y viviendas.



Vargas (2018) en su tesis planteó como objetivo analizar y relacionar la concentración de metales pesados (As, Ba, Cd, Hg y Pb) en la microcuenca Jangas – Huaráz, la metodología consistió en que se recolectaron 30 muestras de sedimentos de corriente. Se analizó la fracción granulométrica -200 de los sedimentos recolectados, luego fueron digeridos con “agua regia” y finalmente, mediante el método de ICP-MS, se cuantificaron las concentraciones totales de los metales pesados (As, Ba, Cd, Hg y Pb). El resultado fue que se encontraron concentraciones de As por encima de los límites máximos permisibles en diez muestras, mientras que el Pb solo superó el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Las conclusiones indican que las abundancias geoquímicas de As y Pb que superan el Estándar de Calidad Ambiental se deben a factores geológicos, aunque no se descartan factores antrópicos, evidenciados por la minería artesanal. La mayor concentración fue la de Pb, con valores de 10.8 a 1889 mg/kg, mientras que la menor concentración fue la de Hg, con valores de 0.01 a 0.91 mg/kg.

Instituto, M. y M. (2017) desarrollaron dicho Atlas geoquímico con el objetivo de comprender el comportamiento de los elementos químicos presentes en los sedimentos de corriente de la red de drenaje del Orógeno Peruano, se generó información geoquímica de 22,928 muestras de sedimentos de corriente a lo largo del Orógeno Peruano. Esto constituye una herramienta de gestión valiosa para la prospección minera, el establecimiento de líneas base geoambientales, la geología médica, los procesos de zonificación ecológica y económica, y el ordenamiento territorial.



2.1.3 Locales

Lopez (2018) menciona en su tesis que objetivo fue generar información temática geoespacial relacionada con la geología y geomorfología del distrito de Cabana, la metodología empleada se compone de tres (3) etapas, descritas a continuación: la primera etapa, o etapa de gabinete 1, implica la recopilación de información geológica relevante para el área de estudio. la segunda etapa, o etapa de campo, consiste en la verificación in situ de las características geológicas, estructurales y geomorfológicas. finalmente, la tercera etapa, o etapa de gabinete 3, implica la sistematización y corrección de los estudios realizados. Obtuvo como resultado que las características geológicas y geomorfológicas del distrito de Cabana son muy singulares, registrándose diecisiete (17) unidades litoestratigráficas y veintiuna (21) unidades geomorfológicas. Tuvo como conclusión que el área de estudio presenta un 0.87% del territorio con alto potencial para minería metálica y un 5.8% del territorio con muy alto potencial para la evaluación y exploración de minería no metálica.

Higidio (2017) en su tesis plantea que el objetivo fue identificar la presencia de metales pesados en las áreas intermedias del proyecto minero Regina, para lo cual utilizó la metodología en la cual se recolectaron muestras representativas para caracterizar el suelo en las áreas intermedias del proyecto minero Regina, obtuvo como resultado que se encontró que el 37% de las muestras de suelo contienen concentraciones elevadas de Arsénico, Mercurio y Plomo y las conclusiones fueron que, estos valores superan el límite establecido en el Estándar de Calidad de Suelo y los niveles de concentración de metales en las muestras de referencia, lo que sugiere que la presencia de estos metales se debe a la influencia de pasivos ambientales.



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Geoquímica Ambiental

La geoquímica ambiental abarca el análisis de cómo los procesos químicos influyen en la distribución y concentración de diversos elementos en diferentes componentes del planeta, como la tierra, el agua, el aire y los organismos vivos. Este campo pone énfasis tanto en las actividades humanas como en los fenómenos naturales que impactan el medio ambiente (Rios-Arana y Garza-Gonzales, 2021).

2.2.2 Elementos Traza

Los elementos traza son aquellos que están presentes en cantidades extremadamente reducidas, generalmente inferiores al 0.01% de la totalidad de un sistema, y son vitales tanto para la vida de los organismos como para procesos geológicos (Alloway, 2013). Se consideran elementos traza aquellos que se encuentran en concentraciones inferiores a 1000 partes por millón, pero que, a pesar de su baja cantidad, tienen un papel clave en actividades biológicas y geológicas (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2022).

2.2.3 Suelo

El suelo es una capa compleja y activa que cubre la superficie de la Tierra, formada por minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Su formación está influenciada por factores como el clima, el relieve, los organismos, el material de origen y el tiempo. Además de ser el sustrato para el crecimiento de las plantas, el suelo es esencial para el ciclo del agua y del carbono, la depuración de contaminantes y el mantenimiento de hábitats para una gran diversidad de organismos (Brady & Weil, 2016), es un sistema abierto y dinámico que surge de



la interacción de la atmósfera, la biosfera, la litosfera y la hidrosfera. Este sistema multifacético contiene partículas minerales, materia orgánica en diversos grados de descomposición, agua y gases, y desempeña funciones esenciales para los ecosistemas. Estas funciones incluyen la regulación de los ciclos de nutrientes, la retención de agua, el apoyo a la producción agrícola, el almacenamiento de carbono y la filtración de contaminantes, haciéndolo uno de los recursos más importantes de la tierra (Hillel, 2008).

2.2.3.1 Parámetros Físico-químicos

(Sparks, 2003) Los parámetros físico-químicos del suelo abarcan las propiedades que definen su estructura y comportamiento. Entre los aspectos físicos destacan la textura, la porosidad, la densidad aparente y la capacidad de retención de agua, mientras que en el ámbito químico se incluyen el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la cantidad de materia orgánica y la presencia de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio. Estas propiedades, al interactuar entre sí, determinan la fertilidad del suelo y su capacidad para sostener plantas y organismos vivos (Sparks, 2003), son fundamentales para comprender cómo funcionan los ecosistemas terrestres. En cuanto a los aspectos físicos, la textura indica la proporción de arena, limo y arcilla, mientras que la estructura refleja la disposición de las partículas del suelo y la permeabilidad afecta el flujo de agua y aire. En el ámbito químico, el pH influye en la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico determina la retención de estos nutrientes, y la salinidad puede limitar la productividad de cultivos. Estos parámetros en conjunto son críticos para el manejo agrícola y la salud de los ecosistemas (Brady & Weil, 2016).

2.2.4 Metales Pesados

Los metales pesados son elementos con alta densidad que, en grandes concentraciones, resultan tóxicos. Los principales incluyen el plomo, cadmio, mercurio y arsénico, que pueden llegar al suelo por procesos naturales o por actividades humanas como la minería o la agricultura. Estos metales, al acumularse en el suelo, pueden ser peligrosos para la salud de los seres vivos, ya que se integran a la cadena alimentaria a través de plantas y agua (Alloway, 2013).



Los metales pesados son una amenaza seria para los ecosistemas, ya que tienden a permanecer en el ambiente por largos periodos y acumularse en organismos y plantas, aumentando la toxicidad. Las principales fuentes de contaminación incluyen actividades industriales, el uso de pesticidas y la quema de combustibles. Vigilar sus niveles en el suelo es clave para prevenir efectos dañinos tanto en la salud humana como en el medio ambiente (Kabata-Pendias, 2011).

2.2.4.1 Arsénico (As)

El arsénico en el suelo se considera un contaminante que tiene tanto orígenes naturales, como la erosión de minerales, como antropogénicos, incluyendo la minería y el uso de pesticidas. Este elemento es nocivo y puede afectar la salud humana al ser absorbido por plantas y agua. La exposición prolongada al arsénico se relaciona con serios problemas de salud, como cáncer de piel, dificultades respiratorias y trastornos cardiovasculares y neurológicos. Por lo tanto, es esencial realizar un seguimiento de los niveles de arsénico en el suelo para identificar riesgos potenciales para la salud pública (Kabata-Pendias, 2011).

El arsénico es un metaloide presente en el suelo en varias formas, algunas de las cuales son más peligrosas que otras. Su toxicidad varía según su estado químico y forma en el medio ambiente. Este elemento puede ser absorbido por las raíces de las plantas y, a través de la cadena alimentaria, puede alcanzar a los humanos. La exposición a arsénico a través de alimentos o agua contaminada puede provocar efectos tanto crónicos como agudos, que van desde lesiones en la piel hasta cáncer y problemas neurológicos. Por lo tanto, es fundamental regular y monitorear los niveles de arsénico en los suelos para salvaguardar la salud humana (Baker & Eash, 2015).

2.2.4.2 Bario (Ba)

El Bario es un metal del grupo de los alcalinotérreos que se encuentra en el suelo principalmente en forma de compuestos como el baritato y el carbonato de bario. Aunque es un elemento natural, su concentración puede aumentar debido a actividades industriales como la minería y la producción de petróleo, así como el uso de algunos pesticidas. La exposición a niveles elevados de bario puede ser dañina para la salud, interfiriendo con la función cardiovascular y causando problemas gastrointestinales, como diarrea y vómitos. En situaciones de exposición severa, el bario puede ocasionar daños musculares y afectar el sistema nervioso. Por ello, es crucial llevar a cabo un monitoreo de los niveles de bario en el suelo para identificar riesgos potenciales para la salud (ATSDR, 2007).

El bario en el suelo puede servir como un indicador de contaminación, especialmente en zonas cercanas a actividades industriales. La ingestión o inhalación de partículas de bario puede resultar en efectos negativos para la salud, que incluyen niveles bajos de calcio en la sangre,



problemas cardíacos y musculares, así como daños en el sistema nervioso. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que, aunque el Ba no se clasifica como carcinógeno, la exposición prolongada a altas concentraciones puede dar lugar a otros problemas de salud que afectan la calidad de vida. Por ello, es crucial evaluar los niveles de bario en el suelo para proteger la salud pública (OMS, 2010).

2.2.4.3 Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal pesado presente en el suelo, mayormente debido a actividades industriales como la minería, la fabricación de baterías y el uso de fertilizantes fosfatados que pueden contener cadmio. Este metal tiene la capacidad de acumularse en el suelo y ser absorbido por las plantas, lo que presenta un riesgo considerable para la salud humana. La exposición al cadmio, ya sea a través de alimentos, agua contaminada o la inhalación de polvo, puede provocar efectos adversos significativos, como daños renales, hipertensión y un mayor riesgo de cáncer. Por ello, es crucial llevar a cabo un monitoreo y regulación de los niveles de cadmio en el suelo para salvaguardar la salud pública (World Health Organization, 2019).

El cadmio es un metal altamente tóxico que se acumula en el suelo, causando efectos perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio ambiente. En la agricultura, el uso de fertilizantes contaminados y la contaminación industrial son fuentes significativas de cadmio en los suelos. La exposición prolongada a este metal puede dar lugar a enfermedades severas, como la enfermedad de Itai-itai, que se manifiesta con dolor en los huesos, debilidad y daño renal. Además, el cadmio puede tener efectos negativos en el desarrollo fetal, provocando malformaciones. Por lo tanto, es vital regular la presencia de cadmio en el suelo para proteger la salud humana y garantizar la seguridad alimentaria (United Nations Environment Programme, 2018).

2.2.4.4 Mercurio (Hg)

El mercurio es un metal pesado que se encuentra en el suelo principalmente debido a actividades industriales como la minería, la combustión de combustibles fósiles y la fabricación de dispositivos electrónicos. Este elemento es extremadamente tóxico y puede presentarse en diversas formas, incluyendo mercurio elemental, sales inorgánicas y compuestos orgánicos como el metilmercurio. La contaminación del suelo por mercurio puede tener consecuencias graves para la salud humana, ya que el metilmercurio se acumula en la cadena alimentaria, provocando daños neurológicos, problemas en el desarrollo de fetos y niños, así como efectos negativos en el sistema inmunológico. Por ello, es fundamental monitorear y controlar los niveles de mercurio en el suelo para prevenir riesgos para la salud pública (World Health Organization, 2019).

El mercurio en el suelo es una preocupación ambiental y de salud importante debido a su capacidad de bioacumularse en los organismos. Las fuentes de mercurio en el suelo incluyen no solo actividades industriales, sino también el uso de productos que contienen mercurio, como ciertos pesticidas y productos farmacéuticos. La exposición a este metal puede causar varios problemas de salud, desde trastornos neurológicos hasta efectos adversos en el sistema cardiovascular y daño renal. La Organización Mundial de la Salud advierte que incluso pequeñas concentraciones de mercurio pueden ser dañinas, lo que resalta la necesidad de implementar regulaciones y monitorear su presencia en suelos agrícolas y urbanos para salvaguardar la salud de la población (United Nations Environment Programme, 2013).



2.2.4.5 Plomo (Pb)

El plomo es un metal pesado presente en el suelo, principalmente debido a actividades humanas como la minería, la construcción, la producción de baterías y el uso de pinturas con plomo. Este metal es extremadamente tóxico y puede acumularse tanto en el suelo como en organismos, representando un riesgo considerable para la salud humana. La exposición al plomo puede afectar negativamente el sistema nervioso, en particular en los niños, causando problemas de desarrollo, dificultades en el aprendizaje y alteraciones del comportamiento. Además, la exposición crónica al plomo se ha relacionado con enfermedades cardiovasculares, daño renal y un incremento en la tasa de mortalidad. Por esta razón, es esencial monitorear continuamente los niveles de plomo en el suelo para salvaguardar la salud pública (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2019).

La presencia de plomo en el suelo puede servir como un indicador de contaminación ambiental y representa un gran desafío para la salud pública. Este metal puede entrar al organismo humano mediante la ingestión de alimentos o agua contaminada, así como a través del polvo del suelo, siendo especialmente peligroso para los niños, que son más vulnerables a sus efectos. La exposición al plomo puede provocar una variedad de problemas de salud, incluyendo daños en el sistema nervioso, anemia y un aumento en el riesgo de hipertensión y enfermedades cardíacas. Asimismo, el plomo puede obstaculizar la absorción de nutrientes esenciales, lo que puede empeorar problemas de salud preexistentes. Por esta razón, se aconseja establecer regulaciones para reducir la exposición al plomo en el medio ambiente y llevar a cabo un monitoreo de los niveles de este metal en suelos agrícolas y urbanos (World Health Organization, 2019).

2.2.5 Importancia de los análisis de metales pesados en suelos

La evaluación de metales pesados en los suelos es fundamental debido a los peligros que representan para la salud humana y el entorno. Elementos como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico tienden a acumularse en el suelo, procedentes tanto de actividades naturales como de fuentes humanas, como la industria y la agricultura. Estos metales son tóxicos en altas concentraciones y pueden entrar en la cadena alimentaria a través de las plantas y el agua. Por ello, los análisis regulares permiten identificar posibles riesgos para la salud y aplicar medidas correctivas en suelos contaminados (Alloway, 2013).

El análisis de metales pesados en el suelo es esencial para prevenir la contaminación ambiental y salvaguardar la salud de las personas. Estos metales tienen la capacidad de permanecer en el suelo durante largos períodos, lo que



puede afectar tanto a los ecosistemas como a la productividad de los cultivos. Los suelos contaminados pueden transferir estos metales a las plantas, las cuales luego son consumidas, generando acumulación en humanos y animales, con posibles consecuencias tóxicas. Realizar análisis regulares de metales pesados permite vigilar la calidad del suelo, identificar niveles críticos de contaminación y planificar la remediación adecuada (Kabata-Pendias, 2011).

2.2.6 Normatividad Legal

La regulación legal actual en Perú sobre el uso de suelos agrícolas está contenida en la Ley General del Ambiente y la Ley de Recursos Hídricos. Estas normativas establecen los principios para un manejo sostenible de los suelos agrícolas y regulan actividades que puedan degradar su calidad, como el uso de químicos agrícolas y el manejo de residuos. Además, protegen los suelos de fenómenos como la erosión y la contaminación, garantizando su preservación para usos futuros y sostenibles (Ministerio del Ambiente, Ley General del Ambiente y su Reglamento, 2019).

En Perú, el Reglamento de Gestión de Suelos Agrarios establece las reglas para la evaluación, uso y conservación de los suelos agrícolas. La normativa exige que los suelos sean clasificados según su capacidad de uso, y fomenta la restauración de suelos degradados mediante métodos de conservación. Además, prohíbe actividades como la minería en áreas agrícolas y regula el uso de agroquímicos para prevenir la contaminación, promoviendo el uso sostenible de los suelos agrícolas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017).

Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (ECA-Suelos) en Perú, regulados por el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, establecen los niveles



máximos permitidos de contaminantes en el suelo, con el objetivo de proteger tanto la salud humana como los ecosistemas. Estos estándares varían según el tipo de uso del suelo (agrícola, residencial, comercial o industrial) y controlan la concentración de metales pesados y otras sustancias peligrosas, asegurando que los niveles de contaminación se mantengan por debajo de los umbrales que representan riesgos para la salud o el medio ambiente. (Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Suelos., 2017)

En Perú, los ECA-Suelos son una herramienta técnica y legal que busca proteger la calidad del suelo y reducir los efectos negativos de actividades urbanas e industriales. Estos estándares evitan la acumulación de contaminantes tóxicos que podrían afectar la salud humana, la agricultura, las aguas subterráneas y los ecosistemas. Los valores límite de contaminantes son basados en investigaciones científicas y varían según el tipo de uso del suelo, apoyando un desarrollo sostenible y facilitando la remediación de áreas afectadas por contaminación (Ministerio del Ambiente, 2017).

Tabla 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Nota. (Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Suelos., 2017)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Corresponde a un enfoque cuantitativo, el cual es un conjunto de procesos organizados de forma secuencial para verificar ciertas suposiciones. Es adecuado cuando se busca estimar la magnitud o frecuencia de los fenómenos y comprobar hipótesis (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

3.1.2 Diseño de muestreo

Se empleó el diseño Experimental, (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) señalan que los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador busca determinar el posible efecto de una causa que se manipula. Para establecer influencias, el primer requisito es la manipulación intencional de una o más variables independientes, las cuales se consideran como la causa en una relación entre variables. El efecto de esta causa se denomina variable dependiente (consecuente). El segundo requisito consiste en medir el efecto que la variable independiente tiene sobre la variable dependiente, y es crucial que esta medición sea adecuada, válida y confiable. El tercer requisito es el control o la validez interna de la situación experimental. El término "control" se refiere a la garantía de que la variación observada en las variables dependientes se debe a la manipulación de las variables independientes y no a otros factores o causas. Si se observa que una o más variables independientes no tienen efecto sobre las dependientes, se puede estar seguro de ello.

3.1.3 Población y tamaño de muestra

Población: Conjunto de todos los casos que cumplen con ciertas especificaciones (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

P: Suelo de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma.

Muestra: Es la unidad de la que se obtendrán los datos o la información definitiva (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

M: 10 puntos de muestreo aleatorio de suelos.

3.1.4 Diseño de metodología por objetivos específicos

Tabla 2

Variables analizadas por objetivos específicos.

Objetivos Específicos	Recolección de datos
Detectar la presencia de los principales metales pesados que se encuentran en los suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno.	<ul style="list-style-type: none">• Se han determinado los niveles de concentración de metales pesados.• Se han identificado los metales pesados.• El método de análisis empleado es la Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES).• Para el respectivo análisis, se envió las muestras a Laboratorios Analíticos del Sur (LAS) y ACTLABS.
Comparar los niveles de metales pesados encontrados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacional para suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno.	<ul style="list-style-type: none">• Se han evaluado los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos según la normativa peruana.• Se han identificado los puntos de muestreo donde las concentraciones de los metales pesados superan a los Estándares de Calidad



Objetivos Específicos	Recolección de datos
	Ambiental (ECA) para suelos.
Caracterizar los parámetros físico-químicos más importantes de los suelos de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma- Puno.	<ul style="list-style-type: none"> Se han analizado las propiedades fisicoquímicas del suelo en el laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales, instrumentos y equipos utilizados en la presente tesis, se dividen en: etapa de campo y gabinete, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 3

Materiales, instrumentos, equipos y laboratorios en la etapa de campo y gabinete.

	ETAPAS	
	ETAPA CAMPO	ETAPA GABINETE
MATERIALES E INSTRUMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> Equipos de protección personal Lápiz magnético Lápiz de dureza Lupa geológica Mapa base Libreta de campo Tablero Martillo de geólogo/ Picota Flexómetro Bolsas de polipropileno para muestreo Pala 	<ul style="list-style-type: none"> Materiales de escritorio



ETAPAS	
ETAPA CAMPO	ETAPA GABINETE
<ul style="list-style-type: none">▪ Pico▪ Etiqueta de muestreo▪ Marcador de tinta indeleble▪ Cinta de embalaje	
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none">▪ GPS Garmin Extrex 10▪ Brújula Brunton▪ Cámara fotográfica
	<ul style="list-style-type: none">▪ ICP-OES▪ Laptop▪ Impresora▪ Scaner
LABORATORIOS	<ul style="list-style-type: none">▪ LAS▪ ACTLABS▪ INIA

3.2.1 Técnicas de análisis de datos

3.2.1.1 Pre campo

Se ha reunido información previa como investigaciones, tesis pre y post grado, artículos científicos, boletines del INGEMMET, etc. relacionados a la zona de estudio.

La ubicación de los puntos de muestreo se ha obtenido con ayuda de imágenes satelitales, se ha preparado una malla de muestreo en la cual involucran 10 puntos, las cuales fueron procesadas en el Software ArcGIS Desktop 10.5.

Se realizaron visitas preliminares al área de estudio para el reconocimiento geológico y el acceso hacia los puntos de muestreo.

En base a la investigación histórica, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, en el año 2021 culminó estudios de geoquímica de suelos para obtener una línea base nacional de suelos en el territorio peruano. Los datos geoquímicos obtenidos hicieron posible identificar la distribución de los principales elementos traza en los suelos. Se utilizó un diseño de muestreo de baja densidad, con una muestra por cada 80 km². Dentro de esta investigación se identificó un punto de muestreo relativamente cercano, en el distrito de Caracoto provincia de San Román, departamento de Puno, en el cual se ha desarrollado análisis de suelo mediante el



método ICP-MS/ICP-OES, los resultados que se obtuvieron para los metales pesados de la presente investigación fueron los siguientes:

Tabla 4

Resultados según ICP-OES para punto de muestreo: Caracoto, según INGEMMET.

ANALITO	CONCENTRACIÓN (PPM)
Arsénico	46.28
Bario	-
Cadmio	1.93
Cromo	28.99
Mercurio	-
Plomo	92.61

3.2.1.2 Campo

Se siguió el protocolo de muestreo para la recolección de datos fisicoquímicos.

Además, se ha realizado el reconocimiento geológico del área de estudio.

En la presente etapa se efectuó el muestreo de suelos, según la malla de muestreo que estuvo conformado por 10 puntos dentro del distrito de Paucarcolla, los cuales se han ubicado con ayuda del GPS Garmin, los puntos de muestreo tuvieron como objetivo determinar los tipos de metales pesados presentes.

3.2.1.2.1 Puntos de muestreo:

Los puntos de muestreo se han determinado mediante el muestreo dirigido que se realiza en ubicaciones previamente seleccionadas de manera específica, contando con un total de 10 puntos de muestreo, donde se ha considerado la superficie de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma, donde se llevó a cabo la toma de muestras de suelo de uso agrícola. (Ver Mapa N°01)

Las coordenadas de los puntos de muestreo son los siguientes:

Tabla 5

Coordenadas de los puntos de muestreo.

N°	PUNTO DE MUESTREO (Código)	COORDENADAS UTM WGS-84 ZONA 19L	
		ESTE	NORTE
1	PS-02	385355	8262505
2	PS-03	384913	8267076
3	PS-07	387249	8267080
4	PS-09	387910	8260495
5	PS-10	387760	8262602
6	PS-11	389380	8267027
7	PS-13	385759	8260156
8	PS-15	389520	8262637
9	PS-17	383568	8260106
10	PS-21	391616	8267044

3.2.1.2.2 Tipo De Muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó en la presente tesis es aleatorio, el cual consiste en elegir elementos de una población de manera que todos tengan las mismas posibilidades de ser seleccionados. Este enfoque es útil para garantizar que los resultados de una investigación sean representativos de la población en estudio y estén libres de sesgos sistemáticos. Su implementación permite hacer estimaciones y generalizaciones confiables dentro de un marco estadístico sólido. Hernández et al (2014).

3.2.1.2.3 Recolección de muestras y preparación

El muestreo busca investigar la posible contaminación del suelo mediante la recolección de muestras representativas para determinar si el suelo cumple o no con los Estándares de Calidad Ambiental.

1. Delimitar el área de donde se extraerá la muestra, un cuadrado de 1 metro por 1 metro.

Figura 1

Área de muestreo delimitada.

A



B

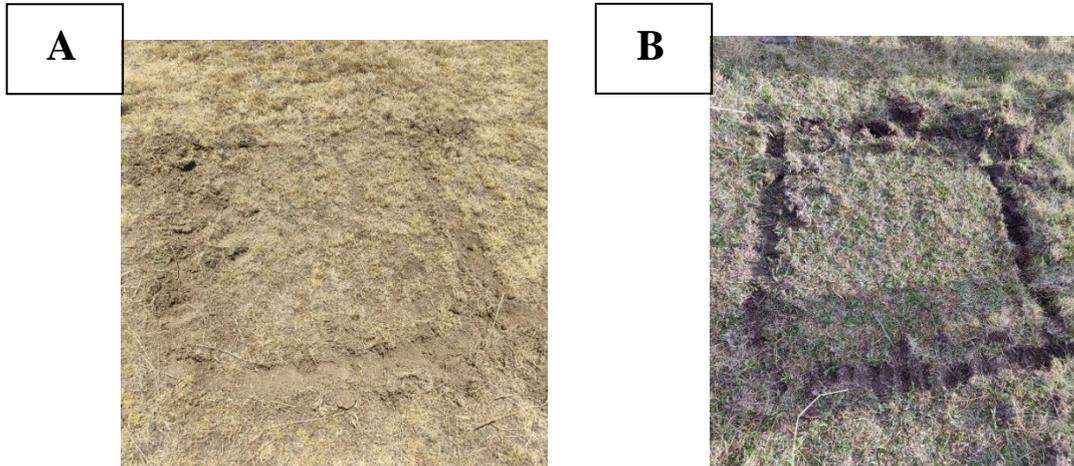


Nota. A) Corresponde al punto de muestreo PS-10. B) Corresponde al punto de muestreo PS-09.

2. Limpiar la superficie del suelo a muestrear.

Figura 2

Limpieza del área a muestrear.



Nota. Limpieza del área a muestrear. A) Corresponde al punto de muestreo PS-10. B) Corresponde al punto de muestreo PS-09.

3. Excavar una profundidad de muestreo de suelo superficial de 0 m a 0.30 metros o hasta que las raíces de las plantas no estén presentes en el suelo.

Figura 3

Excavación para el muestreo.

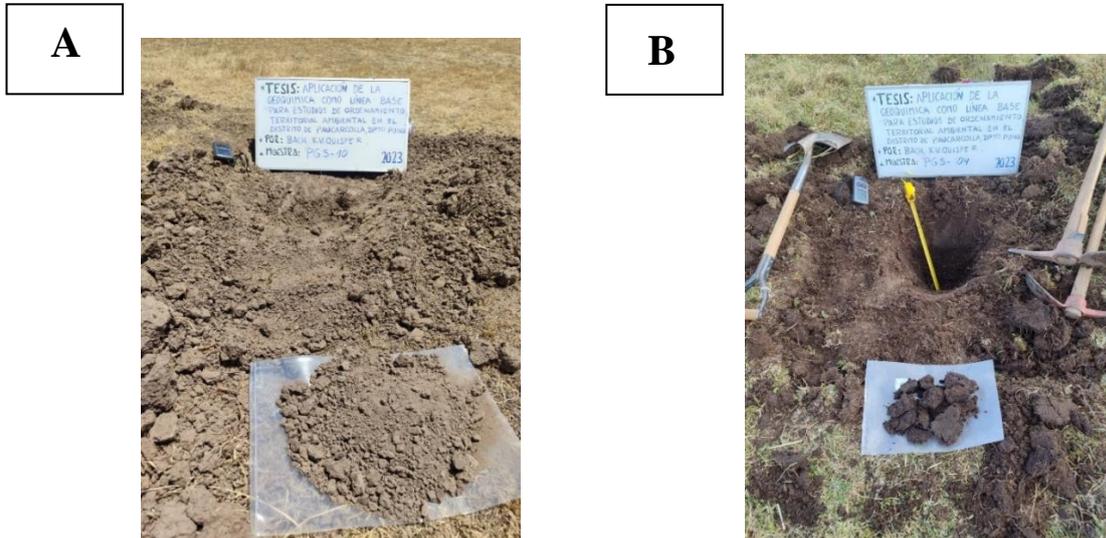


Nota. Excavación para el muestreo. A) Corresponde al punto de muestreo PS-10. B) Corresponde al punto de muestreo PS-09.

- Recoger aproximadamente 1 kg de muestra.

Figura 4

Recolección de muestra.



Nota. Recolección de muestra. A) Corresponde al punto de muestreo PS-10. B) Corresponde al punto de muestreo PS-09.

- Colocar en una bolsa de polietileno transparente para muestreo y etiquetarlo.

Figura 5

Etiquetado de muestras.

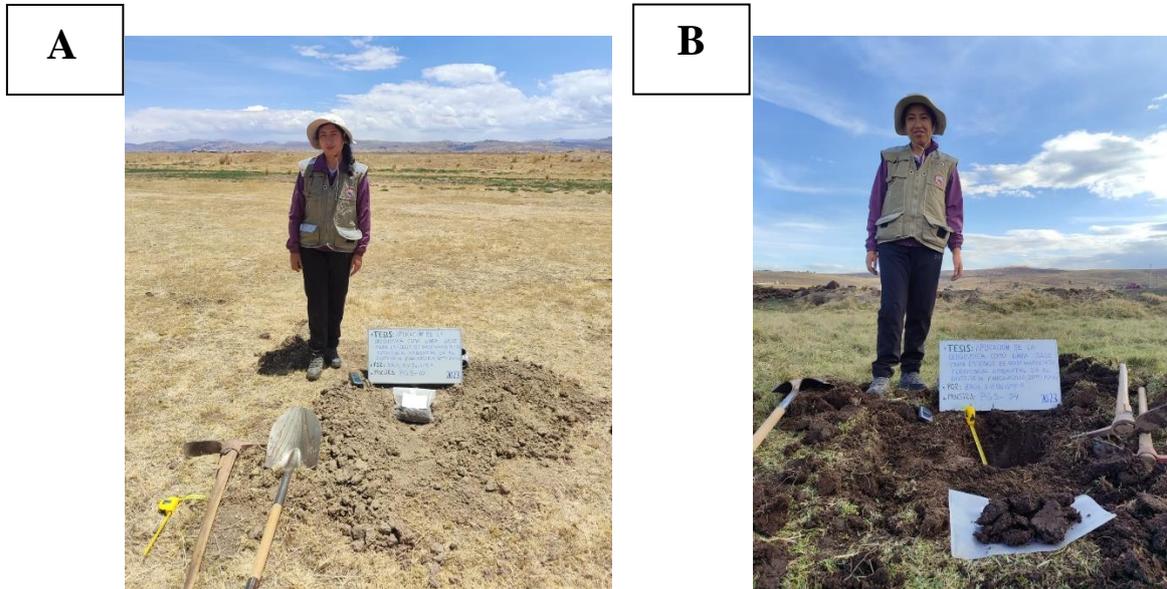


Nota. A) Corresponde al punto de muestreo PS-10. B) Corresponde al punto de muestreo PS-09.

- Colocar la bolsa dentro de otra bolsa para su traslado.

Figura 6

Fin del muestreo.



Nota. A) Corresponde al punto de muestreo PS-10. B) Corresponde al punto de muestreo PS-09.

3.2.1.3 Procedimiento analítico ICP-OES

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) se utiliza como fuente de ionización, y combinado con un espectrofotómetro de emisión óptica (OES), forma el sistema ICP-OES.

En esta técnica, la muestra líquida se introduce de manera continua, y un sistema de nebulización produce un aerosol que es conducido por un flujo de Argón hacia la antorcha de plasma. Este plasma, generado por acoplamiento inductivo a través de radiofrecuencia, alcanza temperaturas elevadas, lo que permite que los analitos se atomicen e ionicen. Este proceso da lugar a espectros de emisión atómica caracterizados por líneas específicas. Los espectros obtenidos son separados mediante una red de difracción, y un detector sensible mide las intensidades de las líneas emitidas. Toda esta información es procesada y gestionada por un sistema informático.

Gracias a las altas temperaturas del plasma (entre 6,000 y 7,000 °C), el sistema es altamente estable y está prácticamente libre de interferencias, lo que permite obtener resultados precisos en concentraciones muy bajas, como en los niveles de ppm y ppb.

Para garantizar la calidad de los análisis, se incluyen controles como blancos de reactivo, blancos de proceso, duplicados y materiales de referencia certificados junto con las muestras.



3.2.1.4 Gabinete

Los datos proporcionados por los laboratorios químicos LAS-ACT LABS (Actlabs-Skyline Perú S.A.C) e INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria) fueron sistematizados utilizando el software Excel. A partir de estos datos, se identificó la presencia de metales pesados como arsénico (As), bario (Ba), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb). Los niveles de contaminación se analizaron en función de las concentraciones de estos metales, comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos destinados a uso agrícola establecidos por SINIA (2017). Adicionalmente, se realizó la caracterización fisicoquímica del suelo, evaluando parámetros como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y clase textural.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN

4.1.1 Ubicación política

Las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma, se ubican en el distrito de Paucarcolla, pertenece a uno de los quince distritos que conforman la provincia de Puno. Se encuentra al norte de la ciudad de Puno. Limita al norte con los distritos de Atuncolla y Huata; al este con el Lago Titicaca; al sur con el distrito de Puno, y al oeste con los distritos de Atuncolla, Tiquillaca y la Laguna Umayo. (Ver Mapa N°02)

Tabla 6

Ubicación política del área de estudio.

Departamento	Puno
Provincia	Puno
Distrito	Paucarcolla

4.1.2 Ubicación Geográfica

Tabla 7

Ubicación geográfica del área de estudio.

Coordenadas	E 386844 N 8259016
Superficie	161.12 km ²
Altitud Media	3,845 msnm.
Zona Geográfica	19 L
DATUM	WGS 84

4.2 ACCESIBILIDAD

Tabla 8

Accesibilidad al área de estudio.

Tramo	Distancia	Tipo de transporte	Condición de vía	Tiempo promedio
Lima-Juliaca	844 km.	Aéreo	-	1 hora 30 minutos
Juliaca-Puno	43.3 km.	Terrestre	Asfaltado	50 minutos
Puno-Paucarcolla	14.9 km.	Terrestre	Asfaltado	20 minutos

4.3 POBLACIÓN

El distrito de Paucarcolla posee en total 4431 habitantes, y cuenta con una densidad poblacional de 26,22 hab/ km².

Tabla 9

Población del distrito de Paucarcolla.

Distrito	Encuesta Rural	Hombre	Mujer	TOTAL
Paucarcolla	4431	2177	2254	4431

Fuente. Instituto de estadística e informativa (INEI) 2017.

4.4 DIVISIÓN ADMINISTRATIVA

El distrito abarca una superficie total de 161.12 km², repartida entre comunidades campesinas y pequeños centros poblados. (Ver Mapa N°03)

Tabla 10

Centros poblados y comunidades del distrito de Paucarcolla.

Centros Poblados	Collana
	Santa Bárbara de Moro
Comunidades	Alianza Chale
	Estación Illpa
	Cueva
	Jilanca
	Pacarimuy
	San Martín de Porres Yanico
	San Miguel de Antoñani
	San Salvador de Machallata
	Lechijuma
	Unión Colila
Yanico Rumini	

4.5 GEOLOGÍA

4.5.1 Formación Huancané (Ki-hn)

Pertenece a la era Mesozoica, sistema Cretáceo de serie Inferior (Palacios et al.,1993).

Esta unidad estratigráfica se manifiesta en el sector central de la región, como en el Cerro Caycate, Cerro Colquehuanca y Cerro Pacahuacha. Al igual que las formaciones mencionadas anteriormente, presenta cuerpos alargados de tamaño kilométrico con orientaciones noroeste-sureste.

(Palacios et al.,1993), describe que la formación se divide en tres unidades litológicas principales: microconglomerados (areniscas conglomerádicas) con estratificación de canal que generalmente se encuentran en la parte media de la

secuencia; areniscas cuarzosas con estratificación cruzada, organizadas en conjuntos asintóticos de 2 a 5 metros de espesor; y areniscas lajosas con estratificación de canal, en conjuntos de menos de 2 metros de grosor. La presencia de capas cruzadas se utiliza para determinar la polaridad de las capas en la mayoría de las exposiciones. Los microconglomerados (areniscas conglomerádicas) contienen clastos bien redondeados de cuarcita blanca. Las areniscas, que varían de grano medio a grueso, suelen presentar tonalidades que van del anaranjado y marrón rojizo al rosado, dependiendo de la cantidad de óxido intersticial presente. El cuarzo secundario como cemento influye en las características de las rocas debido al intemperismo. Las areniscas de grano fino con alto contenido de hierro tienden a formarse en capas lajosas.

En la zona de estudio la Formación Huancané se constituye por areniscas cuarzosas blanco-rosáceas, areniscas conglomerádicas y lutitas.

Figura 7

Formación Huancané.



Nota. Arenisca conglomerádica de tonalidad amarilla debido a minerales de óxidos de hierro (limonita), tamaño de grano medio a fino.



4.5.2 Formación Ayabacas (Kis-ay)

Pertenece a la era Mesozoica, sistema Cretáceo de serie Superior. Se encuentra dentro del Grupo Moho (Palacios et al.,1993).

Designada como formación por (Palacios et al.,1993) descrita por (Newell, 1949). La litología característica proviene de la zona de Ayabacas, ubicada en el cuadrángulo de Juliaca, en la carretera que conecta Juliaca con Taraco.

(Palacios et al.,1993), apoyado por (Newell, 1949) realiza la descripción litológica: Lutita limolítica de color rojo, con caliza impura; caliza masiva grisácea con numerosos huecos tabulares y una superficie muy áspera debido a la intemperización, con una tonalidad azulada en la parte superior; caliza de grano fino, en bloques, con estratificación regular y escasa presencia de fósiles, los últimos 2 metros son lutíticos; caliza masiva grisácea con muchos huecos rellenos de caliza arcillosa; lentes de caliza brechoide; lutita limolítica de color rojo ladrillo; arenisca de grano fino de color rojo ladrillo oscuro; y lutita limolítica de color marrón rojizo oscuro.

En la zona de estudio la Formación Ayabacas se constituye por calizas masivas de color gris.

Figura 8

Calizas de la Formación Ayabacas.



Nota. Caliza masiva grisácea de grano fino.

4.5.3 Formación Muñani (P-mu)

Pertenece a la era Mesozoica, sistema Cretáceo (serie Superior) y Paleógeno. (Palacios et al.,1993).

Sus afloramientos se encuentran distribuidos de manera dispersa en la zona central de la región, descansando de manera concordante sobre la Formación Vilquechico, como se observa al noroeste del Poblado de Vilquechico y en el Cerro Cerazo, a 5 km al norte de Moho. Fue descrita por primera vez por (Newell, 1949) y (Palacios et al.,1993) en donde mencionan que está compuesta por areniscas de color anaranjado a marrón rojizo, friables, con grano que varía de grueso a fino, y presentan estratificación cruzada en forma de canal, junto con un desarrollo irregular de cuarzo secundario como cemento, lo que produce rasgos escarpados. En ciertos lugares, la arenisca se ha recristalizado completamente,

convirtiéndose en una cuarcita de tono púrpura azulada (al noreste de la Laguna Huajracota). Además (Palacios et al.,1993), indica que existen intercalaciones subordinadas de limolitas de color marrón rojizo con un espesor superior a los 10 metros. En el cuadrángulo de Moho, estos afloramientos se encuentran cerca del Cerro Sillane y en los alrededores de la Pampa Uncayllani. En el cuadrángulo de Putina, los mejores afloramientos se localizan en los cerros Codi-Buyo, Amaline, Velacunca, Velamocco y Pinaya.

En la zona de estudio la Formación Muñani se constituye por areniscas de grano fino, medio y grueso con intercalaciones de lutitas con un marcado color rojizo.

Figura 9

Intercalación de lutitas con areniscas de la Formación Muñani.



Nota. Intercalación de lutitas de color pardo oscuro de grano fino y areniscas de grano grueso a fino de color pardo claro.



4.5.4 Grupo Puno (P-pu)

Pertenece a la era Cenozoica, sistema Paleógeno. Fue descrito por primera vez por (Newell, 1949), la unidad aflora de manera dispersa en las zonas central y sur de la región. (Palacios et al.,1993) indican que la constitución litológica se compone de areniscas con conglomerados comunes, limolitas subordinadas, calizas y horizontes de tufos. Las areniscas, presentes en toda la región, son feldespáticas y pueden clasificarse como arcosas, subarcosas y wackas feldespáticas. Estas areniscas son de color rosado a marrón rojizo, bien clasificadas, masivas y bien estratificadas, con un tamaño de grano muy variable y con granos de cuarzo monocristalino que van de angulares a subredondeados. Las areniscas tienen baja porosidad debido a que su matriz está compuesta por minerales de arcilla, cuarzo secundario, calcita o clorita. Se señala que los conglomerados del Grupo Puno presentan una variedad de clastos, que incluyen calizas grises, cuarcitas y areniscas rojas, limolitas, venas de cuarzo, dioritas, microdioritas, cherts, jaspes y una selección de rocas volcánicas de tipo andesítico-basáltico.

En la zona de estudio, el Grupo Puno se constituye por conglomerados, areniscas de grano grueso y limolita.

Figura 10

Intercalación de areniscas y conglomerados del Grupo Puno.



Nota. Intercalación de areniscas de color pardo oscuro de grano medio a fino y conglomerados conformados por clastos de calizas, cuarcitas, y areniscas.

4.5.5 Formación Umayo (N-um/tqb,ab)

(Palacios et al.,1993) Indica que pertenece a la era Cenozoica, sistema Neógeno de serie Plioceno Inferior. (Portugal, 1974) lo describe como “Basaltos Umayo”, y menciona que esta unidad está formada por flujos de lava extensos con un grosor total que supera los 50 metros. Se encuentra expuesta en la Laguna Umayo, tanto en el Cuadrángulo de Puno como en el Cuadrángulo de Acora. Además, en esta descripción se incluyen los afloramientos conocidos como Complejo Volcánico Umayo. La litología característica de esta unidad incluye lavas traquibasálticas, andesíticas basálticas, ignimbritas y andesitas. En el Complejo Arqueológico de Sillustani y sobre la Laguna Umayo (Isla Umayo), la formación está compuesta por traquiandesita fluidal de color gris oscuro, ligeramente vesicular y con un grosor de 8 cm. Encima de esta capa se encuentra un flujo de brechas angulares de 1,2 metros de espesor, compuesto por largos

bloques de lavas vesiculares. Debajo de las brechas angulares, hay un delgado nivel lenticular horizontal de 10 cm de grosor, de color gris pálido y con textura que varía de fina a gruesa, que descansa sin discordancia sobre las areniscas del Grupo Puno (Palacios et al.,1993). Las lavas de Umayo suelen ser de color gris y de grano fino, con algunas áreas localmente vesiculares. Pueden ser afaníticas y contienen pequeños fenocristales de olivino, hornblenda y/o plagioclasa, además de una matriz de grano fino con características traquiandesíticas.

En la zona de estudio, la Formación Umayo se constituye por lavas traquiandesitas basálticas, ignimbritas y andesitas.

Figura 11

Traquiandesitas de la Formación Umayo.



Nota. Lavas traquiandesíticas con matriz de grano fino.

4.5.6 Grupo Barroso (NQ-b-aba)

Pertenece a la era Cenozoica, sistema Neógeno (Plioceno) y Cuaternario (Pleistoceno) (Palacios et al.,1993)

(Palacios et al.,1993) lo describe como rocas volcánicas y vulcanoclásticas que se formaron después del vulcanismo del Grupo Sillapaca, pero antes de la



última glaciación del Pleistoceno y los afloramientos típicos de esta unidad se encuentran en el Cerro Huaracane, Cerro San José y Cerro El Asiento, justo al este de San Antonio de Esquilache. Estos flujos volcánicos incluyen andesitas afaníticas, andesitas basálticas afaníticas, andesitas porfiríticas, derrames de lava, así como tufos traquíticos y traquiandesíticos. También se observan lavas intercaladas con brechas y aglomerados de composición andesítica y traquítica, en el cerro Morojaque, el Grupo Barroso presenta tobas soldadas de grano fino, de color gris a púrpura grisáceo, laminadas e incluyendo plagioclasa, biotita y cristales de anfíboles corroídos. Estas tobas se encuentran sobre las lavas de la Formación Maure. Las lavas y piroclastos de San Antonio de Esquilache rodean complejos intrusivos compuestos por dioritas y granodioritas mineralizadas, algunos de los cuales podrían tener una edad más cercana a la del Tacaza que a la del Barroso.

En la zona de estudio, el Grupo Barroso se constituye por derrames andesíticos, piroclastos y brechas volcánicas.

Figura 12

Grupo Barroso.



Nota. Andesita basáltica textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas.

4.5.7 Cuaternario Aluvial (Qh-al)

Pertenece a la era Cenozoica, sistema Cuaternario de serie Holoceno.

Estos depósitos están asociados a fondos de valle, depresiones, llanuras y laderas de montaña. En esta área se observan litologías como arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas, que han sido depositadas por corrientes de ríos, flujos de agua y corrientes laminares. Todos estos materiales incluyen sedimentos fluviales y coluviales (Palacios et al., 1993). En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes se pueden distinguir claramente de los más antiguos y pueden ser mapeados por separado. Sin embargo, en valles pequeños y en áreas elevadas, a menudo son difíciles de diferenciar. Las llanuras aluviales están compuestas en su mayoría por arenas bien clasificadas, en parte originadas del retrabajo de antiguos depósitos lacustres. En las zonas de tierras altas, muchos de estos materiales aluviales provienen del retrabajo de detritos glaciares de morrena y fluvioglaciares, incluyendo bloques

de grava inconsolidados y gravas de canto que han colmado numerosos valles. (Palacios et al.,1993).

En la zona de estudio, el Cuaternario Aluvial constituye gran parte del territorio el cual está compuesto por arcillas y limos, así como arenas y gravas no consolidadas que han sido depositadas por corrientes de ríos, flujos de agua y corrientes laminares. Todos estos materiales abarcan sedimentos fluviales y coluviales.

Figura 13

Cuaternario aluvial.



Nota. Cuaternario aluvial conformado por sedimentos fluviales y coluviales no consolidados.

4.5.8 Intrusivo de composición diorítica (N-di)

Pertencen al Cenozoico y se diferencian por su composición diorítica en la parte central de la región. Estos se presentan de manera dispersa y en el distrito de Paucarcolla, atraviesan rocas sedimentarias de la edad Cretácica (Palacios et al.,1993).

4.5.9 Intrusivo de composición monzogranítica (N-mgr)

Ubicado al sur del Distrito de Paucarcolla (Cerro Cupe), esta área está en contacto con lavas andesíticas de la Formación Umayo y la Formación Ayabacas, creando halos de metamorfismo de contacto (Palacios et al.,1993).

(Ver Mapa N°04).

4.6 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Tabla 11

Columna estratigráfica del distrito de Paucarcolla.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (MA)	UNIDADES LITO ESTRATIGRÁFICAS			ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01	Depósito aluvial	Qh-al	Gravas y conglomerados en matriz arenolimoso	
		PLEISTOCENO	2.58	Grupo Barroso	NO-b-aba ba ∨ ba ∨ ba ∨	Andesítica basáltica	
	NEOGÉNO	PLIOCENO	5.33				N-di Diorita
	PALEÓGENO	EOCENO	88.0	Grupo Puno	P-pu	Conglomerados polimícticos, intercalados con	



						areniscas blancas y rojizas	N-mgr Monzogranito
				Formación Muñani	P-m	Arenisca beis friable y limoarcillitas rojizas	
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	145.0	Formación Ayabacas	Kis-ayb	Calizas masivas grises y marrones intercaladas, con limoarcillitas rojas	
				Formación Huancané	Ki-hua	Areniscas cuarzosas en capas tabulares, con estructuras sedimentarias de estratificación sesgada.	

Fuente. Elaboración propia.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS POR EL MÉTODO ICP-OES PARA SUELOS

Análisis químico:

Se han analizado las muestras de suelo en función de 38 analitos: Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Ti, Tl, V, W, Y, Zn y Zr.

- La presente investigación se abocó a los siguientes metales pesados: Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb). Si bien el arsénico está considerado como un semimetal o metaloide y no como un metal pesado, en términos de toxicidad y peligrosidad, el arsénico es considerado similar a los metales pesados debido a sus efectos nocivos en la salud humana y el medio ambiente.

Tabla 12

Resultados de la concentración de metales pesados por el Método ICP-OES.

	SÍMBOLO DE ANALITO	As	Ba	Cd	Hg	Pb
	SÍMBOLO DE UNIDAD	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	LÍMITE DE DETECCIÓN	3	1	1	1	2
1	PS-02	15	245	< 1	1	< 2
2	PS-03	52	306	< 1	6	< 2
3	PS-07	21	357	< 1	< 1	37
4	PS-09	79	217	< 1	3	11
5	PS-10	24	329	< 1	1	8
6	PS-11	31	383	< 1	2	10
7	PS-13	< 3	215	< 1	< 1	142
8	PS-15	46	252	< 1	< 1	4
9	PS-17	23	147	< 1	< 1	< 2
10	PS-21	22	382	< 1	< 1	< 2

Fuente. Elaboración propia.

5.2 RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL SUELO SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS (As, Ba, Cd, Hg y Pb) CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECAs) PARA SUELOS DE USO AGRÍCOLA

Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos:

Los resultados de los análisis de las muestras de suelo se comparan con los ECA (SINIA, 2017) para uso de suelo agrícola.

Tabla 13

Estándares de calidad ambiental (ECAs) para suelo.

	PARÁMETRO	SUELO AGRÍCOLA	SUELO RESIDENCIAL/ PARQUES	SUELO COMERCIAL/ INDUSTRIAL/ EXTRACTIVOS
1	Arsénico total (ppm)	50	50	140
2	Bario total	750	500	2000
3	Cadmio total (ppm)	1.4	10	22
4	Mercurio total (ppm)	6.6	6.6	24
5	Plomo total (ppm)	70	140	1200

Fuente. (Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Suelos., 2017)

Tabla 14

Datos descriptivos para el Nivel superficial.

ELEMENTO	ECA (ppm)	N ^a ANÁLISIS	MUESTRAS > ECA
ARSÉNICO TOTAL (PPM)	50	10	2
BARIO TOTAL	750	10	0
CADMIO TOTAL (PPM)	1.4	10	0



ELEMENTO	ECA (ppm)	N ^a ANÁLISIS	MUESTRAS > ECA
MERCURIO TOTAL (PPM)	6.6	10	0
PLOMO TOTAL (PPM)	70	10	1

(**) ESTE SÍMBOLO DENTRO DE LA TABLA SIGNIFICA QUE EL PARÁMETRO NO APLICA PARA EL USO DE SUELO AGRÍCOLA.

Fuente. Elaboración propia.

5.2.1 Arsénico

Las muestras analizadas tuvieron resultados que varían desde 0 a 79 ppm (Tabla 15). Se ha identificado que dos de las muestras PS-03 y PS-09 exceden el ECA de suelos de uso agrícola (50 ppm), con un valor de 52 ppm y 79 ppm respectivamente (Tabla 16.)

En el mapa de distribución geoquímica del arsénico existen tres puntos con alto contenido de Arsénico los cuales son PGS-03 y PGS-09, que se encuentra ubicado en la comunidad de Estación Illpa y Santa Bárbara respectivamente. (Ver Mapa N°05)

Figura 14

Resultado Arsénico.

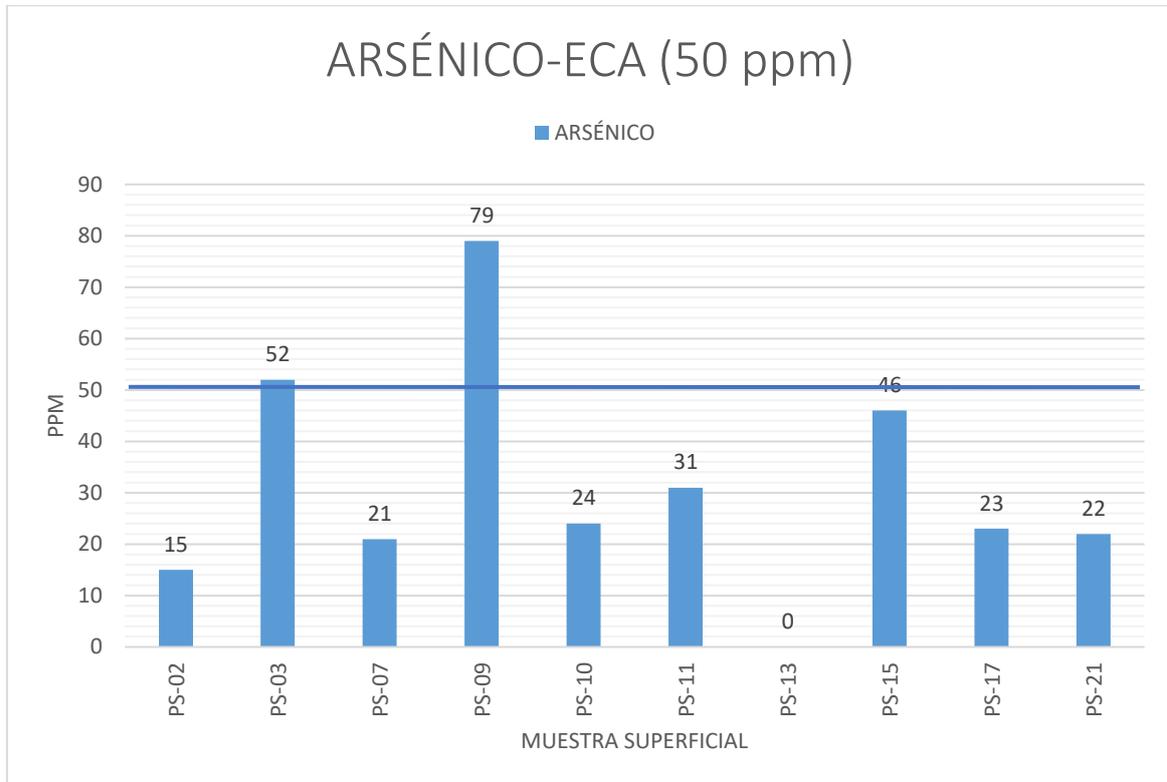


Tabla 15

Resultados Arsénico vs ECA.

CÓDIGO MUESTRA SUPERFICIAL	RESULTADO ARSÉNICO (ppm)	ECA PARA SUELO DE USO AGRÍCOLA
PS-02	15	50
PS-03	52	50
PS-07	21	50
PS-09	79	50
PS-10	24	50
PS-11	31	50
PS-13	<0.1	50
PS-15	46	50
PS-17	23	50
PS-21	22	50

5.2.2 Bario

En el caso de Bario, las muestras analizadas tuvieron resultados que varían desde 147 a 383 ppm (Tabla 17). No se ha identificado muestras que exceden el ECA de suelos de uso agrícola (750 ppm) (Tabla 18).

En el mapa de distribución geoquímica del bario se observa que los colores intensos indican la alta concentración de bario en dichos puntos aún así ninguno excede los ECA. (Ver Mapa N°06)

Figura 15

Resultado Bario.

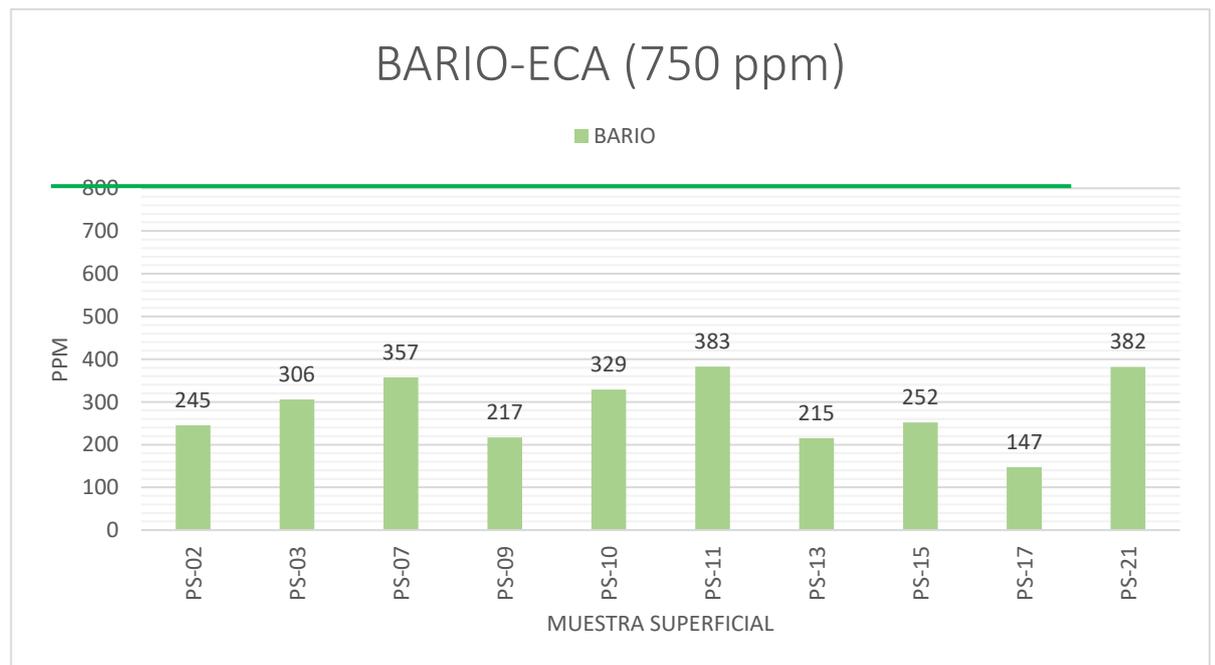


Tabla 16

Resultados Bario vs ECA.

CÓDIGO MUESTRA SUPERFICIAL	RESULTADO BARIO (ppm)	ECA PARA SUELO DE USO AGRÍCOLA
PS-02	245	750
PS-03	306	750



CÓDIGO MUESTRA SUPERFICIAL	RESULTADO BARIO (ppm)	ECA PARA SUELO DE USO AGRÍCOLA
PS-07	357	750
PS-09	217	750
PS-10	329	750
PS-11	383	750
PS-13	215	750
PS-15	252	750
PS-17	147	750
PS-21	382	750

5.2.3 Cadmio

En el caso de Cadmio, las muestras analizadas tuvieron resultados <0.1 ppm (Tabla 19). No se ha identificado muestras que exceden el ECA de suelos de uso agrícola (1.4 ppm) (Tabla 20).

En el mapa de distribución geoquímica del cadmio se observa que su presencia es reducida ya que se encuentra a <1 ppm, por lo que no significa un potencial riesgo para el ser humano. (Ver Mapa N°07)

Figura 16

Resultado Cadmio.

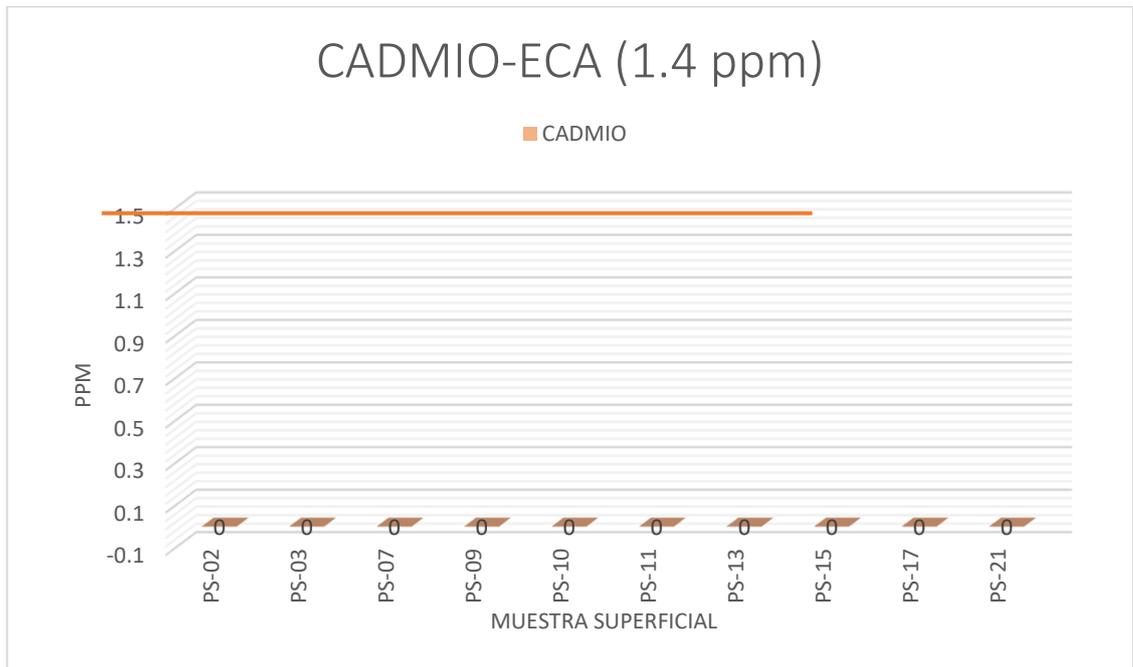


Tabla 17

Resultados Cadmio vs ECA

CÓDIGO MUESTRA SUPERFICIAL	RESULTADO CADMIO (ppm)	ECA PARA SUELO DE USO AGRÍCOLA
PS-02	<0.1	1.4
PS-03	<0.1	1.4
PS-07	<0.1	1.4
PS-09	<0.1	1.4
PS-10	<0.1	1.4
PS-11	<0.1	1.4
PS-13	<0.1	1.4
PS-15	<0.1	1.4
PS-17	<0.1	1.4
PS-21	<0.1	1.4

5.2.4 Mercurio

Las muestras analizadas tuvieron resultados que varían desde 0 a 6 ppm (Tabla 21). Se ha identificado que ninguna de las muestras excede el ECA de suelos de uso agrícola (6.6 ppm) (Tabla 22).

En el mapa de distribución geoquímica del mercurio se observa que su presencia es reducida (Ver Mapa N°08)

Figura 17

Resultado Mercurio.

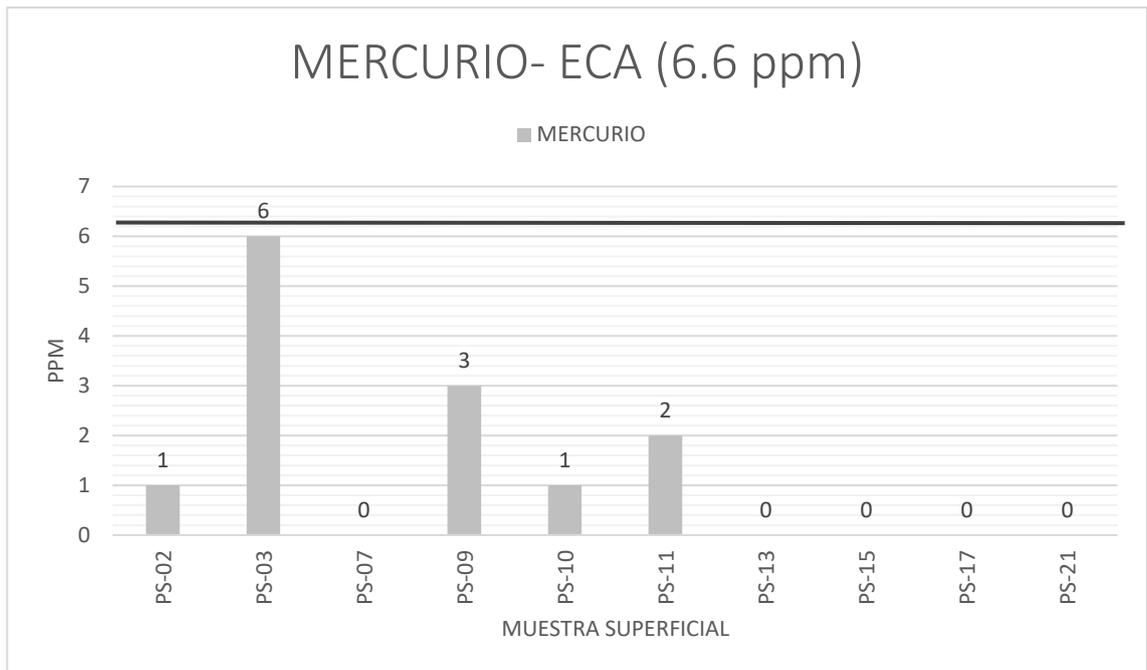


Tabla 18

Resultados Mercurio vs ECA.

CÓDIGO MUESTRA SUPERFICIAL	RESULTADO MERCURIO (ppm)	ECA PARA SUELO DE USO AGRÍCOLA
PS-02	1	6.6
PS-03	6	6.6
PS-07	<0.1	6.6
PS-09	3	6.6
PS-10	1	6.6
PS-11	2	6.6
PS-13	<0.1	6.6
PS-15	<0.1	6.6
PS-17	<0.1	6.6
PS-21	<0.1	6.6

5.2.5 Plomo

Las muestras analizadas tuvieron resultados que varían desde 0 a 142 ppm. Se ha identificado que una de las muestras PS-13 exceden el ECA de suelos de uso agrícola (70 ppm), con un valor de 142 ppm. (Tabla 19)

En el mapa de distribución geoquímica del plomo existe un punto con alto contenido de plomo el cual es PGS-13, que se encuentra ubicado en la comunidad de Lechijuma. (Ver Mapa N°09)

Figura 18

Resultado Plomo.

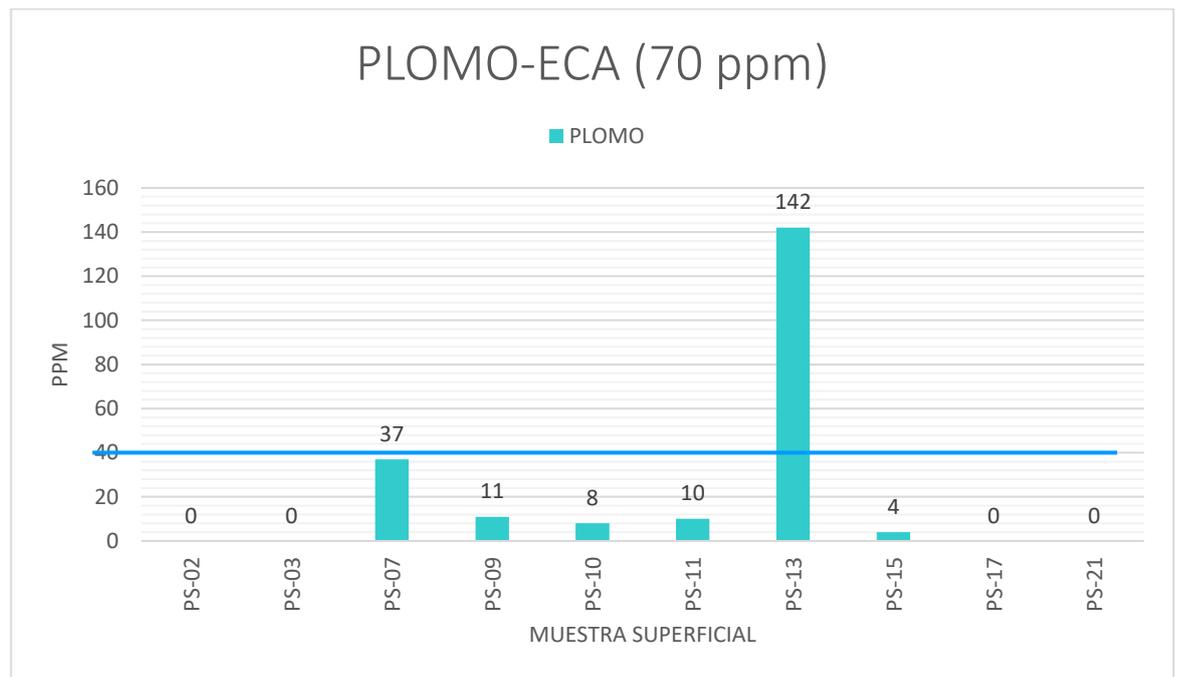


Tabla 19

Resultados Plomo vs ECA.

CÓDIGO MUESTRA SUPERFICIAL	RESULTADO PLOMO (ppm)	ECA PARA SUELO DE USO AGRÍCOLA
PS-02	<0.1	70



PS-03	<0.1	70
PS-07	37	70
PS-09	11	70
PS-10	8	70
PS-11	10	70
PS-13	142	70
PS-15	4	70
PS-17	0	70
PS-21	0	70

5.2.6 MUESTRAS EXCEDENTES A LOS ECA

Se puede observar que se tiene tres puntos con metales pesados que exceden los ECA para suelo de uso agrícola. (Ver Mapa N°10)

Se tiene al As en los puntos: PS-03, el cual está situado en las Comunidad de Estación Ilpa y PS-09, que se ubica en la Comunidad Santa Bárbara.

Se tiene al Pb en el punto PS-13, el cual se encuentra situado en la comunidad de Lechijuma.

Según estos resultados se pueden realizar estudios ambientales basado en la detección de metales pesados que exceden los ECA para suelo de uso agrícola. Estos resultados sirven para contribuir a la planificación adecuada del territorio de acuerdo con sus características, proteger el medio ambiente y los ecosistemas, velar por el bienestar y la salud de la población.

5.3 RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS SUELOS

5.3.1 Ph

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para el Potencial de Hidrógeno (pH) según la metodología de ensayo *EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste Ph*. Se obtuvo el promedio para el Potencial de Hidrógeno (pH) el cual es 7.33, que corresponde a la clasificación de SUELO NEUTRO, cuyos efectos tóxicos son mínimos.

Tabla 20

Resultado pH del suelo.

	Ph	PROMEDIO
PS-02	7.2	7.33
PS-03	7.2	7.33
PS-07	7.3	7.33
PS-09	7.2	7.33
PS-10	7.1	7.33
PS-11	7.3	7.33
PS-13	7.5	7.33
PS-15	7.5	7.33
PS-17	7.6	7.33
PS-21	7.4	7.33

Figura 19

Promedio pH del suelo.

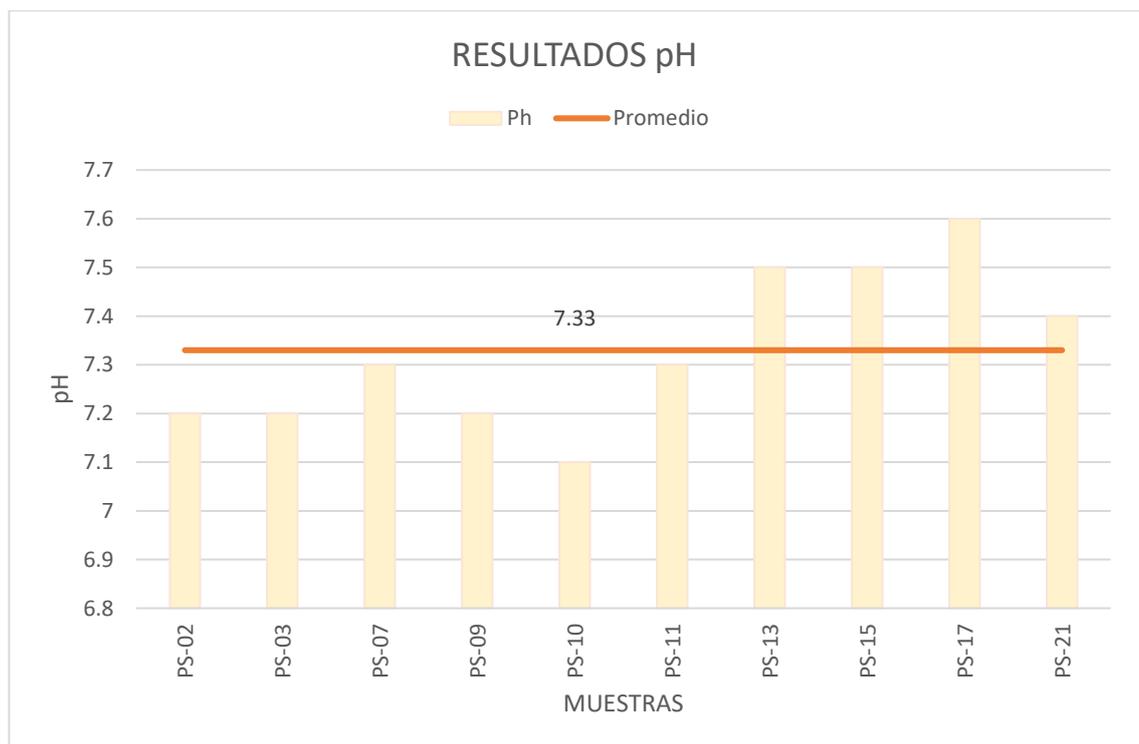


Tabla 21

Clasificación de suelos según valor de pH.

PH	EVALUACIÓN	EFFECTOS
< 5.0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.
5.1- 6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos.
6.6- 7.3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos. Existencia de carbonato cálcico.
7.4- 8.5	Medianamente alcalino	Deficiente asimilación de algunos nutrientes.
>8.5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes.

Nota. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)

5.3.2 Conductividad Eléctrica

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para Conductividad Eléctrica (CE), según la metodología de ensayo *ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality-Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corriendum 1*. Se obtuvo el promedio para la Conductividad Eléctrica (CE), el cual es 5.03, que corresponde a la clasificación NORMAL, que indica efecto insignificante de la salinidad. No hay restricciones para el cultivo de ninguna especie, aunque ciertos cultivos particularmente sensibles podrían experimentar una disminución en su rendimiento.

Tabla 22

Resultado Conductividad Eléctrica del suelo.

	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	PROMEDIO
PS-02	5.3	5.03
PS-03	3.4	5.03
PS-07	2.8	5.03
PS-09	5.6	5.03
PS-10	6	5.03
PS-11	6	5.03
PS-13	5.6	5.03
PS-15	7.2	5.03
PS-17	4.6	5.03
PS-21	3.8	5.03

Figura 20

Promedio Conductividad Eléctrica del suelo.

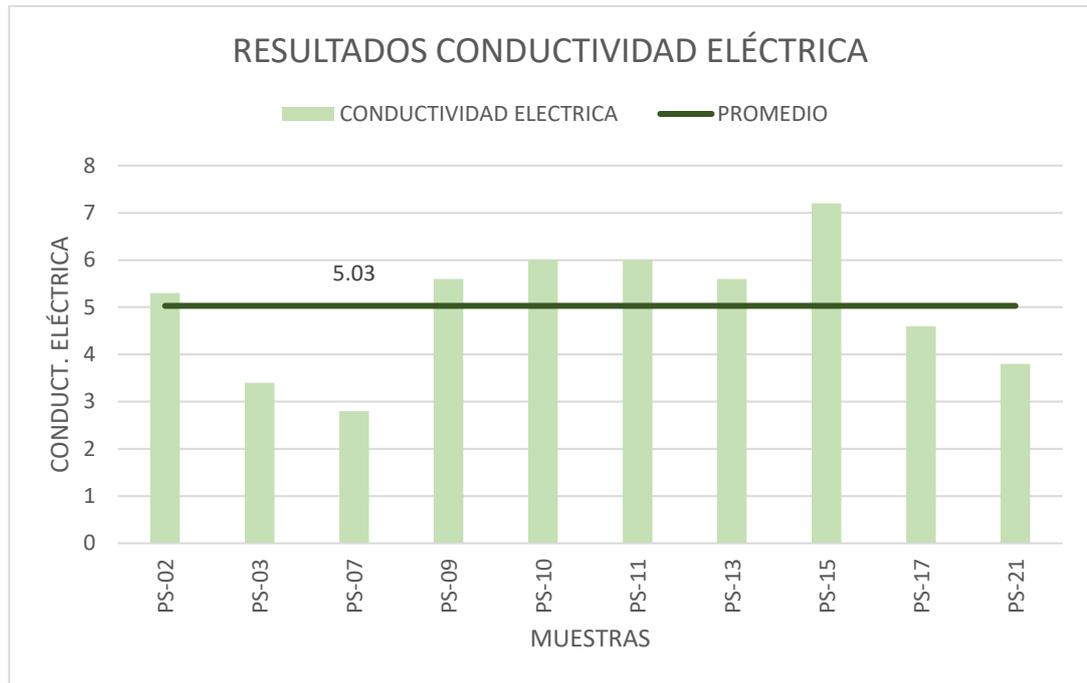


Tabla 23

Clasificación de suelos según valor de Conductividad Eléctrica (CE).

CLASIFICACIÓN	CE (MS/ M)	EFFECTOS
---------------	------------	----------



Normal	<100	Efecto despreciable de la salinidad. No existe restricción para ningún cultivo, aunque algunos cultivos muy sensibles pueden ser afectado en sus rendimientos.
Muy ligeramente salino	110-200	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en sus rendimientos.
Moderadamente salino	210-400	Los rendimientos de cultivos pueden verse afectados en sus rendimientos.
Suelo salino	410-800	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
Fuertemente salino	810-160	Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
Muy fuertemente salino	>160	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

Nota: 1dS/m= 100mS/m

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)

5.3.3 Materia Orgánica

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para Materia orgánica (MO), según la metodología de ensayo Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). Item 7.1.7 AS-07.2000. Contenido de materia orgánica por el Método de Walkley y Black. Se obtuvo el promedio para la Materia orgánica (MO), el cual es 1.48, que corresponde a la clasificación BAJO, que sugiere que el suelo podría no ser ideal para el cultivo, especialmente en términos de nutrición y retención de agua, y que posiblemente requerirá enmiendas orgánicas para mejorar su calidad.

Tabla 24

Resultado Materia orgánica.

	MATERIA ORGÁNICA	PROMEDIO
PS-02	1.7	1.48

PS-03	0	1.48
PS-07	1.1	1.48
PS-09	2.2	1.48
PS-10	2.7	1.48
PS-11	4.6	1.48
PS-13	0.6	1.48
PS-15	1.7	1.48
PS-17	0.2	1.48
PS-21	0	1.48

Figura 21

Promedio Materia orgánica del suelo.



Tabla 25

Clasificación de suelos según valor de Materia Orgánica (MO).

CLASIFICACIÓN	%MO
Muy bajo	<0.5
Bajo	0.6-1.5
Medio	1.6-3.5
Alto	3.6-6.0
Muy alto	>6.0

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)

5.3.4 Nitrógeno

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para Nitrógeno (N), según la metodología de ensayo *ISO 11261-1995. First Edition. Soil quality-Determination of total nitrogen-Modified Kjeldahl method*. Se obtuvo el promedio



para el Nitrógeno (N), el cual es 0.057, que indica una concentración relativamente BAJO de este nutriente esencial. El nitrógeno es fundamental para el crecimiento de las plantas, ya que es un componente clave de las proteínas, ácidos nucleicos y clorofila, y su deficiencia puede afectar seriamente el desarrollo de los cultivos.

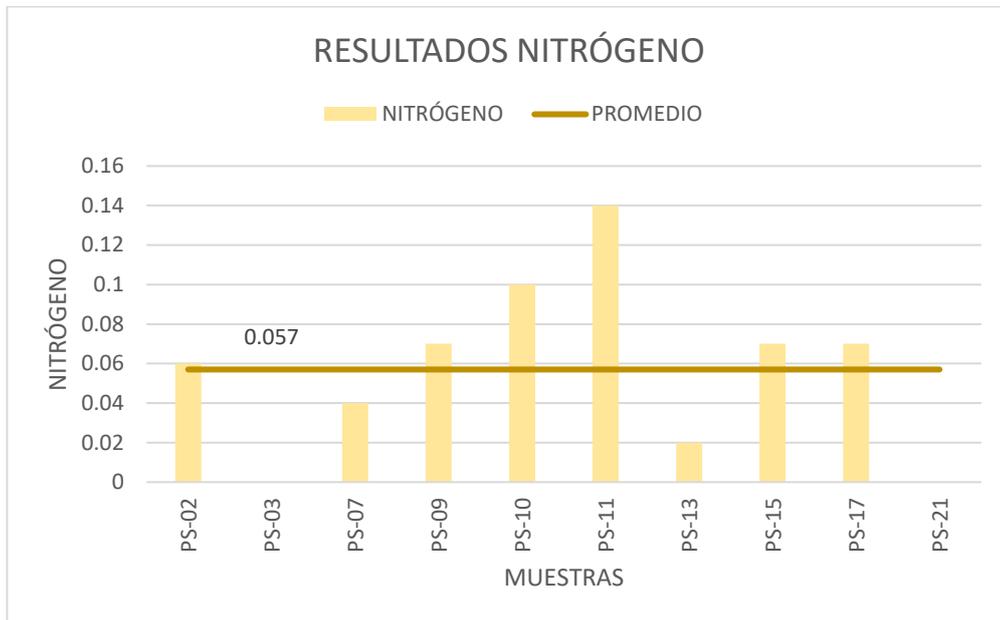
Tabla 26

Resultado Nitrógeno.

	NITRÓGENO	PROMEDIO
PS-02	0.06	0.057
PS-03	0	0.057
PS-07	0.04	0.057
PS-09	0.07	0.057
PS-10	0.1	0.057
PS-11	0.14	0.057
PS-13	0.02	0.057
PS-15	0.07	0.057
PS-17	0.07	0.057
PS-21	0	0.057

Figura 22

Promedio Nitrógeno del suelo.



5.3.5 Fósforo

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para Fósforo (F), según la metodología de ensayo Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). Item 7.1.10 AS-10.2000. Determinación de fósforo por el método de Olsen y colaboradores. Se obtuvo el promedio para la Materia orgánica (MO), el cual es 46.93, que corresponde a la clasificación ALTO, que indica es beneficioso para el crecimiento de las plantas, pero debe ser monitoreado cuidadosamente para evitar problemas de desequilibrio nutricional y de contaminación ambiental.

Tabla 27

Resultado Fósforo.

	FÓSFORO	PROMEDIO
PS-02	30.9	46.93
PS-03	38.6	46.93
PS-07	23.5	46.93
PS-09	22.5	46.93
PS-10	307.3	46.93
PS-11	4	46.93
PS-13	3.5	46.93
PS-15	0.7	46.93
PS-17	8.4	46.93
PS-21	29.9	46.93

Figura 23

Promedio Fósforo del suelo.

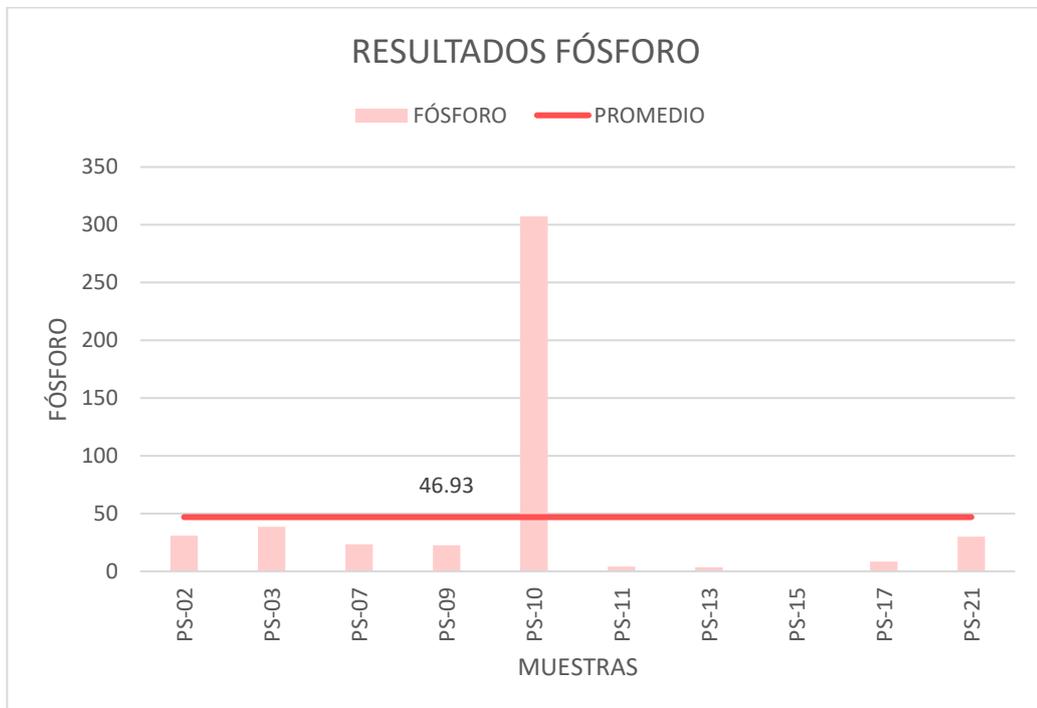


Tabla 28

Clasificación de suelos según valor de Fósforo(F).

CLASIFICACIÓN	Mg/kg de P
Bajo	<5.5
Medio	6.5-11
Alto	>11

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)

5.3.6 Potasio

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para Potasio (K), según la metodología de ensayo Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego-INIA.Ed.1era. 2017.Item 4.9.1.Pag.62. Potasio Disponible. Se obtuvo el promedio para el Potasio (K), el cual es 397.2, indica una concentración MODERADA A ALTA, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. El potasio es un macronutriente esencial que contribuye significativamente al desarrollo y la salud de las plantas.

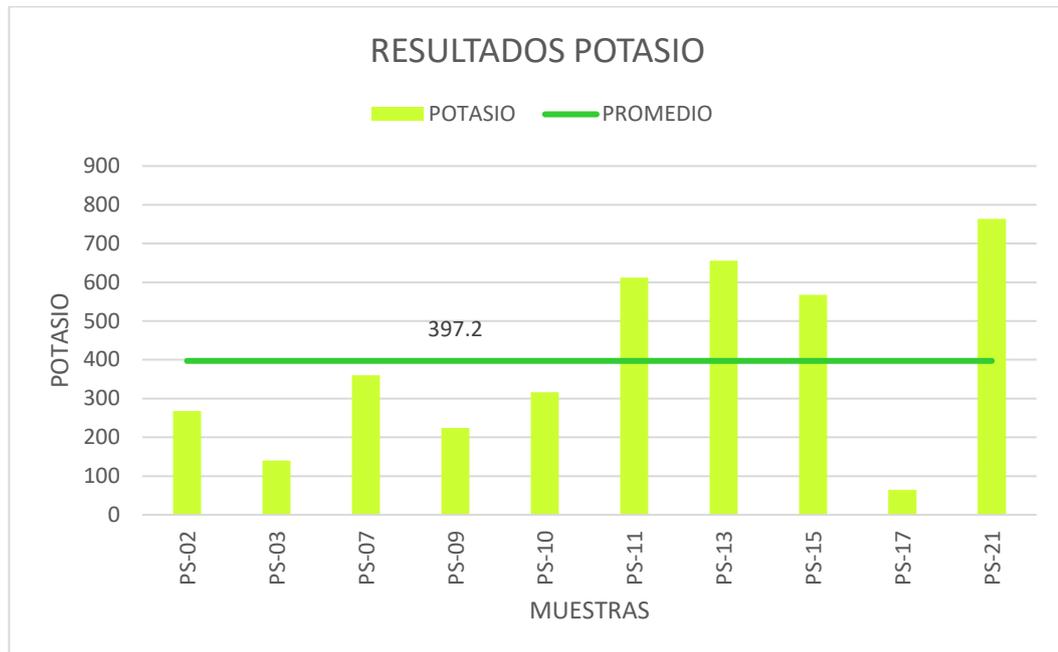
Tabla 29

Resultado Fósforo.

	POTASIO	PROMEDIO
PS-02	268	397.2
PS-03	140	397.2
PS-07	360	397.2
PS-09	224	397.2
PS-10	316	397.2
PS-11	612	397.2
PS-13	656	397.2
PS-15	568	397.2
PS-17	64	397.2
PS-21	764	397.2

Figura 24

Promedio Potasio del suelo.



5.3.7 Carbonatos de Calcio Equivalente

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para Carbonatos de Calcio Equivalente (CCE), según la metodología de ensayo Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). Ítem 7.3.25 AS-29.2000. Determinación de Carbonato de calcio por el método de Neutralización Ácida. Se obtuvo el promedio para Carbonatos de Calcio Equivalente (CCE), el cual es 4.182, indica que el suelo contiene una cantidad MODERADA de carbonato de calcio (CaCO_3), lo que puede afectar sus propiedades químicas y su disponibilidad de nutrientes para las plantas.

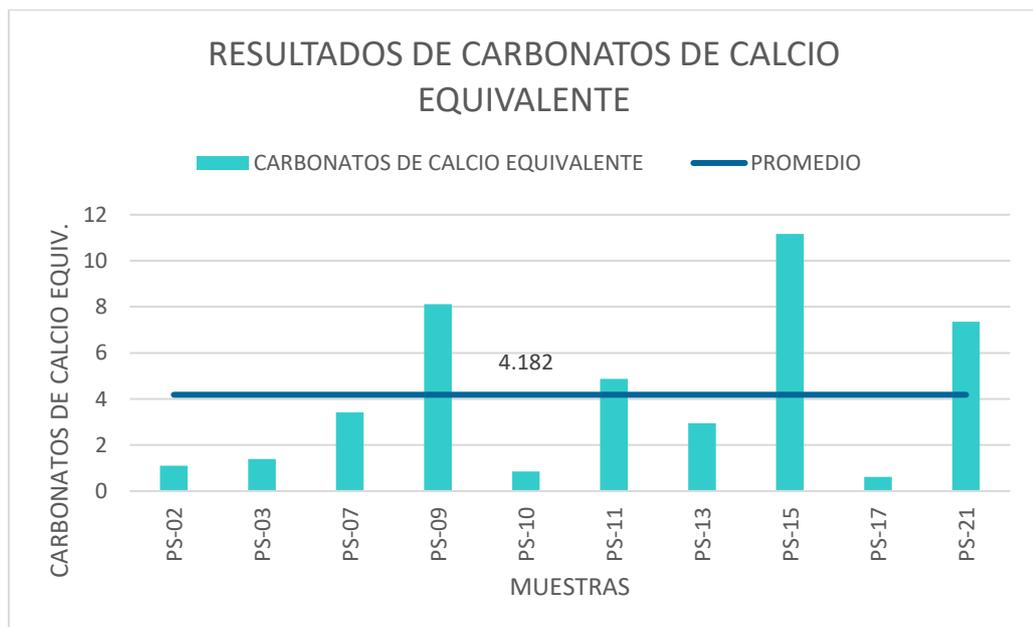
Tabla 30

Resultado para Carbonatos de Calcio Equivalentes.

	CARBONATOS DE CALCIO EQUIVALENTE	PROMEDIO
PS-02	1.1	4.182
PS-03	1.39	4.182
PS-07	3.42	4.182
PS-09	8.12	4.182
PS-10	0.85	4.182
PS-11	4.87	4.182
PS-13	2.94	4.182
PS-15	11.17	4.182
PS-17	0.61	4.182
PS-21	7.35	4.182

Figura 25

Promedio para Carbonatos de Calcio Equivalentes del suelo.



5.3.8 Capacidad de Intercambio Catiónico

De los 10 puntos de muestreo (Ver Anexos), para la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), según la metodología de ensayo Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). Item 7.1.12 AS-12.2000. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables de suelo con acetato de amonio. Se obtuvo el promedio para la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), el cual es 18.074, que corresponde a la clasificación MEDIO, que indica como efecto es suelo medio.

Tabla 31

Resultado para la Capacidad de Intercambio Catiónico.

	CAPACIDAD	
	DE	PROMEDIO
	INTERCAMBIO	
PS-02	16	18.074
PS-03	12	18.074
PS-07	20.1	18.074
PS-09	23	18.074
PS-10	10.2	18.074
PS-11	27.04	18.074
PS-13	26	18.074
PS-15	22	18.074
PS-17	4	18.074
PS-21	20.4	18.074

Figura 26

Promedio para la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.

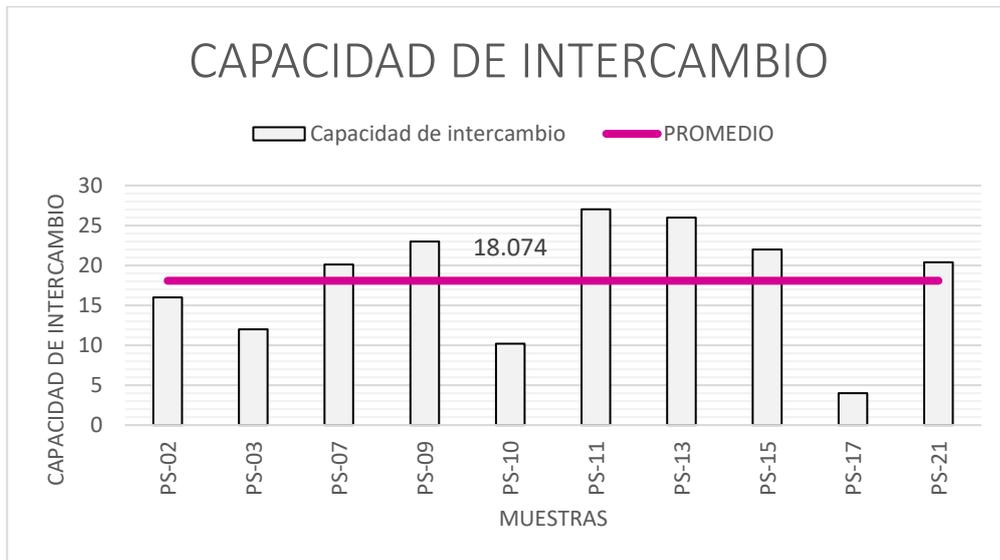


Tabla 32

Clasificación de suelos según valor de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

CLASIFICACIÓN	CIC (Cmol/kg suelo)	EFFECTOS
Muy bajo	<0.5	Suelo muy pobre
Bajo	5.0-15	Suelo pobre
Medio	15-25	Suelo medio
Alto	25-40	Suelo rico
Muy alto	>40	Suelo muy rico

Nota. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)

5.3.9 Análisis de textura

Para determinar el tipo de textura de las muestras de suelo se ha dividido en los siguientes:



5.3.9.1 Arena

De los 10 puntos de muestreo se obtuvo el promedio para la textura ARENA el cual es 34.164%.

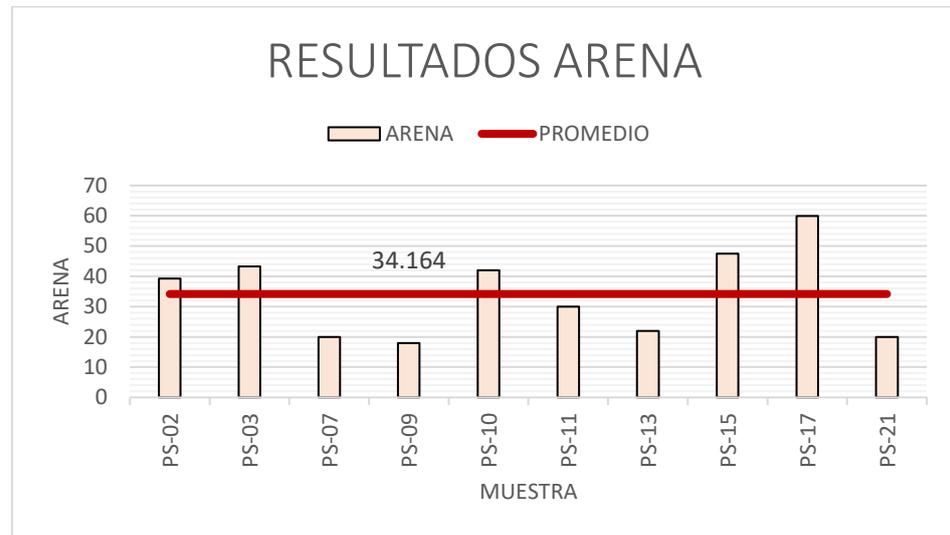
Tabla 33

Resultado % Arena.

	RESULTADOS TEXTURA ARENA	PROMEDIO RESULTADOS %
PS-02	39.24	34.164
PS-03	43.24	34.164
PS-07	19.96	34.164
PS-09	17.96	34.164
PS-10	41.96	34.164
PS-11	29.96	34.164
PS-13	21.96	34.164
PS-15	47.44	34.164
PS-17	59.96	34.164
PS-21	19.96	34.164

Figura 27

Promedio % Arena.



5.3.9.2 Limo

De los 10 puntos de muestreo se obtuvo el promedio para la textura LIMO el cual es 23.5%.

Tabla 34

Resultado % Limo.

	RESULTADOS TEXTURA LIMO	PROMEDIO RESULTADOS %
PS-02	49.84	23.5
PS-03	41.84	23.5
PS-07	39.12	23.5
PS-09	43.12	23.5
PS-10	35.12	23.5
PS-11	51.12	23.5
PS-13	75.12	23.5
PS-15	21.84	23.5
PS-17	29.12	23.5
PS-21	37.12	23.5

Figura 28

Promedio % Limo.



5.3.9.3 Arcilla

De los 10 puntos de muestreo se obtuvo el promedio para la textura ARCILLA el cual es 23.5%.

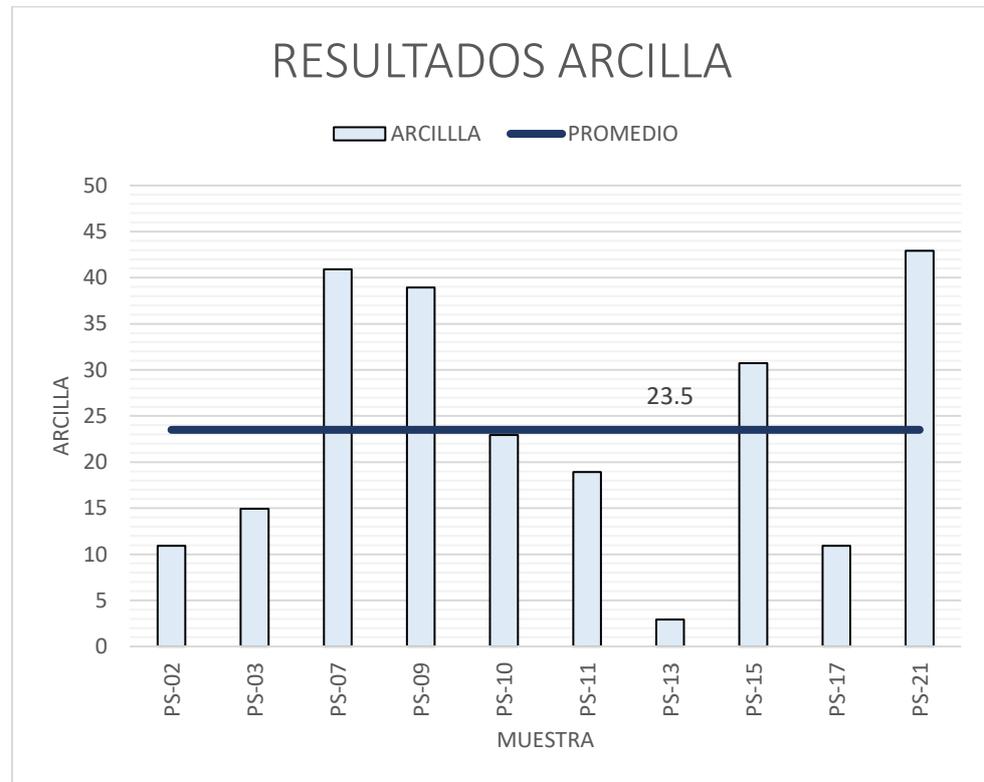
Tabla 35

Resultado % Arcilla.

	RESULTADOS TEXTURA ARCILLA	PROMEDIO RESULTADOS %
PS-02	10.92	23.5
PS-03	14.92	23.5
PS-07	40.92	23.5
PS-09	38.92	23.5
PS-10	22.92	23.5
PS-11	18.92	23.5
PS-13	2.92	23.5
PS-15	30.72	23.5
PS-17	10.92	23.5
PS-21	42.92	23.5

Figura 29

Promedio % Arcilla.

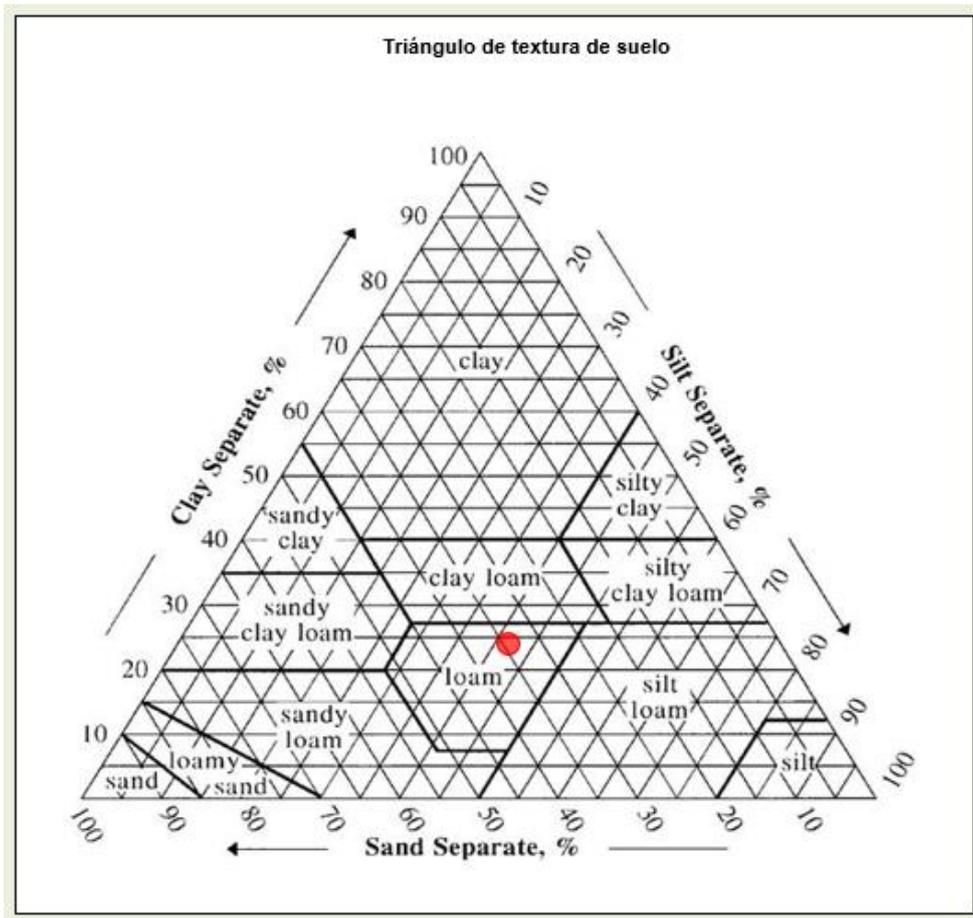


5.3.10 Clase Textural

Según los datos obtenidos del porcentaje de arena (34%), arcilla (24%) y limo (42%), se determina en el Triángulo de textura de suelo cuyo resultado fue SUELO FRANCO.

Figura 30

Triángulo estructural de USDA.





VI. CONCLUSIONES

Se aplicó la geoquímica de suelos para obtener información relevante para estudios ambientales en las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma, ubicadas en Puno. El trabajo incluyó un muestreo geoquímico en 10 puntos estratégicos y el análisis de los resultados en tres laboratorios diferentes: LAS, ACT LABS e INIA. En los suelos analizados se identificó la presencia de 38 analitos, sin embargo, el estudio se enfocó principalmente en los metales pesados más relevantes para la evaluación ambiental: arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio y plomo. Este enfoque permitió priorizar los elementos de mayor impacto potencial en la salud y el medio ambiente.

- Se compararon los resultados de los análisis de las muestras de suelo de las comunidades de Estación Illpa, Santa Bárbara y Lechijuma con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos de uso agrícola cuyos resultados fueron: Arsénico, los valores oscilaron entre <3 y 79 ppm, superando el límite máximo de 50 ppm en dos puntos de muestreo. Bario, Los valores estuvieron entre 147 y 395 ppm, sin superar el límite de 750 ppm. Cadmio, los valores fueron <1.0 ppm, dentro del límite permitido de 1.4 ppm, Mercurio, los valores oscilaron entre <1 y 6 ppm, sin superar el límite de 6.6 ppm y plomo, los niveles fluctuaron entre <2 y 142 ppm, excediendo el límite de 70 ppm en un punto de muestreo. En las comunidades de Estación Illpa y Santa Bárbara, el arsénico es el metal pesado que excede los valores permitidos por los ECA. En la comunidad de Lechijuma, se detectaron concentraciones de plomo superiores a lo permitido. Estos resultados indican que, en los puntos mencionados, el suelo no es apto para uso agrícola.

La clasificación textural del suelo corresponde a un suelo franco. Sus características fisicoquímicas promedio son las siguientes: pH: 7.33, clasificado como neutro, conductividad eléctrica: 5.03, clasificada como normal, materia orgánica: 1.48, clasificada como baja y la capacidad de intercambio catiónico: 18.074, clasificada como media.



VII. RECOMENDACIONES

Realizar un monitoreo periódico y sistemático en diferentes épocas del año para obtener una visión completa de las variaciones geoquímicas en el suelo y así actualizar la línea base según cambios estacionales o anuales.

Complementar los estudios geoquímicos con evaluaciones de biodiversidad, agua y aire para una visión integral del ordenamiento territorial ambiental y desarrollar estrategias de conservación más completas.

Implementar programas de educación y concientización en las comunidades sobre los riesgos asociados con la contaminación del suelo y promover prácticas sostenibles en el uso de recursos locales. Implementar programas de educación y concientización en las comunidades sobre los riesgos asociados con la contaminación del suelo y promover prácticas sostenibles en el uso de recursos locales.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2019). *Toxicological Profile for Lead*.

Alloway, B. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer.

ATSDR. (2007). *Toxicological Profile for Barium*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Baker, L., & Eash, N. (2015). *Arsenic in Soil: Environmental and Health Impacts*. Environmental Science & Policy.

Bishnu Angon, P., Islam, M., KC, S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., & Akter Suchi, S. (2024). Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>

Brady, N., & Weil, R. (2016). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson.

Guzmán, P., & Ramírez, M. (2021). *Planificación Territorial para la Conservación del Medio Ambiente*. Eco-Territorial Editores.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metología de la investigación*. McGraw-Hill.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, P. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. (M.-H. Interamericana, Ed.)



- Higidio Ludeña, M. (2017). Identificación y evaluación de la calidad del suelo para determinar la presencia de metales pesados en las áreas intermedias del Proyecto Minero Regina. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/1668>
- Hillel, D. (2008). *Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life*.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2017). Atlas geoquímico del Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1272>
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press.
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. (2022). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer.
- Lopez Ramirez, A. (2018). Geología y geomorfología a nivel microzonificación para la Zonificación Ecológica y Económica del distrito de Cabana-Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14731>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2017). *Reglamento de Gestión de Suelos Agrarios*. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAGRI. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Suelos*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Ley General del Ambiente y su Reglamento*. Lima, Perú.
- Newell, N. (1949). *Geology of the Titicaca Region, Peru and Bolivia*. (G. S. memoir, Ed.) Boulder, Colorado.
- OMS. (2010). *Barium and Barium Compounds*. World Health Organization.
- Palacios, O., De la Cruz, J., De la Cruz, N., Klinck, B., Ellison, R., & Hawkins, M. (1993). *Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca-Sur*



Perú. (Vol. Boletín N°42. Serie A: Carta Geológica Nacional). (I. G. Metalúrgico, Ed.)

Parviainen, A., Rosca, C., Rondon, D., Casares Porcel, M., & Martín-Peinado, F. (2024). Assessment of atmospheric pollution by potentially toxic elements in the urban areas of the Riotinto mining district. *Chemosphere*, 363. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142906>.

Portugal, J. (1974). *Mesozoic and Cenozoic Stratigraphy and Tectonic events of Puno-Santa Lucia Area, Department of Puno, Perú.*

Programme, U. N. (2018). *Cadmium in Fertilizers and its Impact on Human Health and the Environment.*

Quispe Arana, C., & Silvestre Soto, N. (2019). Nivel de concentración de metales pesados en relación a los estándares de Calidad Ambiental (ECAs-Suelo), en el suelo del área de Influencia directa del botadero de Pampachacra, distrito, provincia y departamento de Huancavelica. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3075>

Registry, A. f. (2017). *Toxicological Profile for Chromium.*

Rios-Arana, J., & Garza-Gonzales, M. (2021). *Geoquímica Ambiental: Principios y Aplicaciones.* Ciencias de la tierra.

Salazar Gutierrez, E. (2018). Geología aplicada al ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay-Apurímac. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/3487>

Saldaña Melgarejo, H. (2020). Niveles de referencia para metales pesados en el suelo-Cerro de Pasco. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13084/4469>



Sánchez, J., & Perez, R. (2020). *Ordenamiento Territorial y Sostenibilidad Ambiental*.

Editorial Ecológica.

SEMARNAT. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021.

Simatupang, C., Santhaweesuk, K., Strezov, V., Pongkiatkul, P., Boontanon, N., Jindal,

R., & Boontanon, S. (2024). Health risk assessment of soil contamination with heavy metals in a child care center co-located in vicinity to small scale industrial

area: Case study of Thailand. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100727>

SINIA. (2017). Estándares de Calidad Ambiental para suelo. Ministerio del Ambiente-

D.S. N°011-2017-MINAM. : Decreto Supremo 0011/2017- Estándares de Calidad Ambiental.

Sparks, D. (2003). *Environmental Soil Chemistry*. Academic Press.

United Nations Environment Programme. (2013). *Global Mercury Assessment 2013:*

Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport.

Vargas Guevara, J. (2018). Análisis y relación geoquímico ambiental de los elementos

pesados (As, Ba, Cd, Hg y Pb), en la microcuenca Janngas- Huaráz. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1974>

World Health Organization. (2019). *Cadmium: Environmental Health Criteria 134*.



ANEXOS



Anexo 1. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo GUISEP ROJAS KORLA VANESSA
, identificado con DNI 70673258 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA GEOLÓGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" APLICACIÓN DE LA GEOQUÍMICA DE SUELOS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN

LAS COMUNIDADES DE ESTACION ULLPA, SANTA BÁRBARA Y LECHITUMA - PUNO

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de NOVIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo2. Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo QUISPE ROJAS KARLA VANESSA
, identificado con DNI 70673238 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA GEOLOGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" APLICACIÓN DE LA GEOQUÍMICA DE SUELOS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN LAS COMUNIDADES DE ESTAGÓN ILLPA, SANTA BARBARA Y LECHIJUMA - PUNO.

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de NOVIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella