

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CONTAMINACIÓN DEL SUELO DEL ÁREA BOTADERO ANTIGUO
YANAMURI APACHETA POR PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICO, DISTRITO
DE ACORA - PUNO, 2025**

PRESENTADA POR:

MAGDALENA ESTEFANI ORDOÑO RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



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



8.79%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 22 JUL 2025, 8:03 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL 1.14% ● CHANGED TEXT 7.65%

Report #27624287

MAGDALENA ESTEFANI ORDOÑO RAMOS // CONTAMINACIÓN DEL SUELO DEL ÁREA BOTADERO ANTIGUO YANAMURI APACHETA POR PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICO, DISTRITO DE ACORA - PUNO, 2025 RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno. El estudio es descriptivo y de diseño no experimental, teniendo como muestras suelos contaminados y no contaminados para el análisis, los resultados fueron los siguientes: en relación con el análisis físico-químico del suelo no contaminado, se determinó que este presenta una textura franco arenosa, con un contenido de arena del 68 %, limo 20 % y arcilla 12 %. Su pH de 6.78 indica una acidez ligeramente neutra, adecuada para procesos biológicos del suelo. La materia orgánica alcanzó 2.00 %, un valor aceptable pero no óptimo para suelos agrícolas. Además, se registraron valores adecuados de fósforo (12.02 ppm), potasio (130.00 ppm), nitrógeno total (0.10 %) y una conductividad eléctrica baja (0.27 mS/cm), lo que indica una salinidad normal. En general, el suelo no contaminado mantiene características edafológicas favorables. Respecto al análisis físico-químico del suelo contaminado, se identificó que mantiene una textura similar al suelo no contaminado (franco arenosa), sin alteraciones significativas en su estructura física. Sin embargo, se evidenció una ligera reducción del contenido de materia orgánica (1.90 %) y de nutrientes como el potasio (110 ppm) y

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
CONTAMINACIÓN DEL SUELO DEL ÁREA BOTADERO ANTIGUO
YANAMURI APACHETA POR PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICO, DISTRITO
DE ACORA - PUNO, 2025
PRESENTADA POR:
MAGDALENA ESTEFANI ORDOÑO RAMOS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

: 
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

Área; Ingeniería, Tecnológica.

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Línea de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 01 de agosto del 2025.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme la fortaleza y sabiduría para seguir adelante en cada etapa de mi formación.

A mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo y sus sacrificios que han sido el pilar fundamental de mi vida.

A mi familia, por su constante apoyo, comprensión y palabras de aliento que me impulsaron a no rendirme.

A mis docentes y compañeros de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes con su conocimiento, experiencias y colaboración contribuyeron a mi crecimiento académico y profesional.

Y finalmente, a la madre Tierra, fuente de vida e inspiración, cuyo cuidado y preservación dan sentido a esta vocación.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Privada San Carlos, por haberme brindado una formación académica y profesional sólida, que me ha permitido desarrollar competencias y valores fundamentales para contribuir al progreso y bienestar de mi región.
- A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por ser el espacio donde adquirí conocimientos, habilidades y experiencias que enriquecieron mi formación integral como futuro profesional comprometido con el cuidado del medio ambiente.
- A los distinguidos miembros del jurado calificador:
 - o Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda,
 - o Dr. Esteban Isidro León Apaza,
 - o Dra. Marlene Cusi Montesinos,

Por haber participado en la evaluación de este trabajo de investigación, aportando sus valiosos conocimientos, observaciones y sugerencias que contribuyeron a su mejora y fortalecimiento académico.

- A mi asesor de tesis, el Mg. Fredy Aparicio Castillo Suaquita, por su dedicación, orientación constante y apoyo incondicional durante todo el proceso de elaboración de esta investigación. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos y culminar con éxito este trabajo académico.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.	16
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES.	17
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. EL SUELO.	20

2.1.2. LA CALIDAD DEL SUELO.	21
2.1.3. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO	22
2.1.4. CONDICIONES DE CUMPLIMIENTO PARA LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO.	23
2.1.5. INDICADORES QUÍMICOS	25
2.1.6. INDICADORES BIOLÓGICOS	27
2.2. MARCO CONCEPTUAL	28
2.3. MARCO NORMATIVO	29
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	30
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.	30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	31
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	32
3.2.1. POBLACIÓN.	32
3.2.3. MUESTRA.	32
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	33
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	33
3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	33
3.3.3. MÉTODO.	34
3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	34
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	36

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO NO CONTAMINADO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO.	37
4.2. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO	

CONTAMINADO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO.	39
4.3. DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL SUELO CONTAMINADO Y NO CONTAMINADO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO.	42
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	44
4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.	46
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Indicadores químicos para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.	26
Tabla 02: Indicadores biológicos para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.	28
Tabla 03: Puntos de muestreo de la investigación.	33
Tabla 05: Operacionalización de Variables de la investigación.	36
Tabla 06: Concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo no contaminado.	37
Tabla 07: Concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo contaminado.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación del Distrito de Puno.	31
Figura 02: Ubicación del terreno del botadero antiguo “Yanamuni - Apacheta” respecto a la ciudad de Acora.	32
Figura 03: Variación de los parámetros del suelo contaminado y no contaminado.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia de la investigación.	53
Anexo 02: Análisis de laboratorio.	54
Anexo 03: Galería fotográfica.	56

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno. El estudio es descriptivo y de diseño no experimental, teniendo como muestras suelos contaminados y no contaminados para el análisis, los resultados fueron los siguientes: en relación con el análisis físico-químico del suelo no contaminado, se determinó que este presenta una textura franco arenosa, con un contenido de arena del 68 %, limo 20 % y arcilla 12 %. Su pH de 6.78 indica una acidez ligeramente neutra, adecuada para procesos biológicos del suelo. La materia orgánica alcanzó 2.00 %, un valor aceptable pero no óptimo para suelos agrícolas. Además, se registraron valores adecuados de fósforo (12.02 ppm), potasio (130.00 ppm), nitrógeno total (0.10 %) y una conductividad eléctrica baja (0.27 mS/cm), lo que indica una salinidad normal. En general, el suelo no contaminado mantiene características edafológicas favorables. Respecto al análisis físico-químico del suelo contaminado, se identificó que mantiene una textura similar al suelo no contaminado (franco arenosa), sin alteraciones significativas en su estructura física. Sin embargo, se evidenció una ligera reducción del contenido de materia orgánica (1.90 %) y de nutrientes como el potasio (110 ppm) y el nitrógeno total (0.09 %), lo que podría afectar la fertilidad y productividad del suelo a largo plazo. El pH fue de 6.62 (ligeramente ácido) y la conductividad eléctrica fue mayor (0.30 mS/cm) en comparación con el suelo no contaminado, lo que puede asociarse a la acumulación de lixiviados o residuos solubles. Concluyendo que existe la leve disminución del contenido de materia orgánica, la saturación de bases (56.56 %) y la conductividad eléctrica (0.30 mS/cm) en el suelo, lo que indicaría alteraciones en la calidad edáfica relacionadas con la acumulación prolongada de residuos sólidos urbanos del botadero.

Palabras clave: Análisis, Botadero, Contaminación del suelo, Residuos, Yanamuni.

ABSTRACT

The present investigation aimed to evaluate soil contamination at the old Yanamuni Apacheta dump, Acora district, Puno province. The study is descriptive and of non-experimental design, using contaminated and uncontaminated soil samples for analysis. The results were as follows: Regarding the physical-chemical analysis of the uncontaminated soil, it was determined that it presents a sandy loam texture, with a sand content of 68%, silt 20% and clay 12%. Its pH of 6.78 indicates a slightly neutral acidity, adequate for soil biological processes. Organic matter reached 2.00%, an acceptable but not optimal value for agricultural soils. In addition, adequate values of phosphorus (12.02 ppm), potassium (130.00 ppm), total nitrogen (0.10%) and low electrical conductivity (0.27 mS/cm) were recorded, indicating normal salinity. In general, the uncontaminated soil maintains favorable edaphological characteristics. Regarding the physical-chemical analysis of the contaminated soil, it was found to maintain a texture similar to that of the uncontaminated soil (sandy loam), with no significant alterations in its physical structure. However, a slight reduction in the organic matter content (1.90%) and nutrients such as potassium (110 ppm) and total nitrogen (0.09%) was evident, which could affect the soil's long-term fertility and productivity. The pH was 6.62 (slightly acidic), and the electrical conductivity was higher (0.30 mS/cm) compared to the uncontaminated soil, which may be associated with the accumulation of leachate or soluble residues. It was concluded that there was a slight decrease in the organic matter content, base saturation (56.56%), and electrical conductivity (0.30 mS/cm) in the soil, which would indicate alterations in soil quality related to the prolonged accumulation of urban solid waste from the landfill.

Keywords: Analysis, Landfill, Soil contamination, Waste, Yanamuni.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es una de las problemáticas ambientales más significativas en la actualidad, especialmente en zonas donde la disposición final de los residuos sólidos no se realiza de manera técnica ni controlada. En muchas localidades del país, los botaderos a cielo abierto continúan siendo la alternativa predominante para el manejo de los desechos, generando impactos negativos en el entorno natural y en la salud de las poblaciones cercanas. Esta situación es evidente en el distrito de Acora, provincia de Puno, donde se encuentra ubicado el antiguo botadero Yanamuri Apacheta, el cual ha sido utilizado durante años sin una adecuada gestión ambiental.

El presente estudio tiene como finalidad evaluar la contaminación del suelo en esta zona específica, a través del análisis de parámetros físicos y químicos, permitiendo así establecer el grado de afectación ambiental generado por la acumulación prolongada de residuos sólidos. La investigación es de tipo descriptivo, y su aporte científico se basa en proporcionar información útil sobre la calidad del suelo, lo cual servirá como referencia para futuros estudios e iniciativas orientadas a mitigar los efectos de la contaminación.

El valor innovador de este proyecto radica en que brinda información relevante a los habitantes del distrito de Acora sobre la situación actual del suelo en el área del botadero. Con el conocimiento generado, se podrán tomar decisiones más informadas respecto al uso de estos terrenos, especialmente si se plantea su recuperación para actividades agrícolas u otros usos tradicionales. Asimismo, esta investigación busca sensibilizar tanto a la población como a las autoridades locales sobre el impacto de una mala gestión de los residuos, promoviendo una mayor conciencia ambiental y la implementación de estrategias que contribuyan a la reducción de la contaminación.

Finalmente, la identificación de los niveles de contaminación permitirá evidenciar si los suelos afectados han perdido su capacidad para sustentar vida o si requieren procesos de recuperación antes de su reutilización. De este modo, los resultados obtenidos no solo aportarán datos técnicos fundamentales, sino que también podrán ser utilizados como

base para la formulación de políticas públicas y planes de manejo ambiental sostenibles en la región.

El presente trabajo se divide en los siguientes apartados: El Capítulo I plantea el problema y los objetivos; el Capítulo II desarrolla los fundamentos teóricos y normativos; el Capítulo III expone la metodología de investigación; y el Capítulo IV presenta, analiza e interpreta los resultados, concluyendo con las respectivas conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, los botaderos de basura se han convertido en terrenos destinados al depósito de desechos sólidos de diversa índole, abarcando tanto materia orgánica como inorgánica, y una amplia gama de moléculas naturales y xenobióticas. Estos lugares, lamentablemente, se han transformado en focos de infección y proliferación de enfermedades, así como la ausencia de estabilidad geotécnica y los cambios en la composición de la flora y la fauna, todo ello acompañado de un alto nivel de contaminación ambiental (Banco Mundial, 2018). Esta situación, en la actualidad, está influyendo de manera negativa en el estilo de vida y el bienestar sostenible de la sociedad. Ante tales condiciones, se vuelve de suma importancia el monitoreo constante de parámetros tales como: pH, conductividad eléctrica, etc.

En el contexto nacional peruano, un análisis de gestión de residuos sólidos (Innova Ambiental, 2019), revela que más del 40% de los desechos sólidos terminan en botaderos, lo que evidencia una problemática en la disposición final de los residuos. Asimismo, se ha observado un incremento en la generación per cápita (GPC) promedio de residuos sólidos, pasando de 0.529 kg/hab/día en 2001 a 0.7 kg/hab/día en 2017. Este aumento sugiere un cambio en los patrones de consumo y generación de residuos de la población. Adicionalmente, se ha identificado la carencia de un proceso eficiente para la disposición final de los residuos sólidos, lo que agrava la problemática ambiental y de salud pública.

En el contexto local, la ciudad de Acora, al igual que muchas otras áreas en la región de Puno, no escapa a la problemática de la gestión de residuos sólidos. A pesar de ser una ciudad geográficamente pequeña y en proceso de crecimiento demográfico y económico, enfrenta desafíos significativos en cuanto a la generación y disposición de desechos sólidos, se estima que Acora genera aproximadamente 1.3 toneladas de residuos sólidos al día (Arhuata, 2024). Es evidente que la ciudad de Acora ha experimentado una expansión sin un ordenamiento territorial acorde a su crecimiento poblacional. Esta situación, sumada a la falta de planificación por parte de las autoridades municipales en cuanto al control y disposición de residuos sólidos, ha generado graves consecuencias ambientales. Como resultado de esta falta de previsión, se estableció un botadero de desechos sólidos a 4.17 km de la ciudad de Acora, denominado "Yanamuni Apacheta". Este botadero estuvo en funcionamiento hasta junio de 2022 y ahora es considerado un botadero antiguo. La situación se agrava aún más al considerar que, según el inventario nacional de áreas degradadas por residuos sólidos elaborado por la Dirección de Supervisión Ambiental en Infraestructuras y Servicios - Coordinación de Supervisión Ambiental en Residuos Sólidos (OEFA, 2022), el botadero "Yanamuni Apacheta" ha recibido la clasificación de "área degradada por residuos sólidos municipales".

Según lo expuesto, se deduce que el distrito de Acora carece de una planta de tratamiento de residuos sólidos y que el antiguo botadero ha ocasionado impactos negativos en el suelo debido a la posible presencia de componentes tóxicos, como metales pesados, cuya concentración se desconoce. Ante esta problemática, surge la siguiente interrogante:

1.1.1. PROBLEMA GENERAL.

¿Cómo es la contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ¿Cuál es el resultado del análisis físico-químico del suelo no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?

- ¿Cuál es el resultado del análisis físico-químico del suelo contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?
- ¿Cuál es la variación de los resultados del suelo contaminado y no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

En un estudio realizado por Pullugando (2018), sobre el relleno sanitario del Cantón Baños de Agua Santa en Puyo, Ecuador, se evaluaron las características físico-químicas de los lixiviados de la planta de tratamiento. Los resultados revelaron concentraciones de cadmio (Cd) que oscilaron entre 0.03 mg/l y 0.05 mg/l, superando los límites permitidos por la normativa ambiental ecuatoriana. Esta presencia de cadmio se atribuyó a la disposición de baterías de teléfonos móviles y tubos de PVC en el relleno. En cuanto al plomo (Pb), las concentraciones muestreadas variaron entre 0.24 mg/l y 0.52 mg/l, también excediendo los valores máximos establecidos por la normativa. Se determinó que la presencia de plomo se debía a la presencia de materiales sintéticos, restos de cerámica y esmaltes en los residuos depositados en el relleno.

Balcazar et al. (2020), investigaron sobre la contaminación del suelo en un vertedero ubicado en Tabasco, México con el objetivo de evaluar el impacto de este en la calidad del suelo. Para llevar a cabo esta investigación, se realizó un levantamiento topográfico del área y se instalaron seis pozos de monitoreo de suelo. Los resultados de la evaluación revelaron concentraciones elevadas de metales pesados como cadmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr) y plomo (Pb) en las muestras de suelo. Los investigadores atribuyeron estas altas concentraciones al intercambio catiónico que se produce entre el lixiviado (líquido generado por la descomposición de los residuos) y el suelo. En este proceso, el suelo actúa como un receptor de cationes presentes en el lixiviado, incluyendo los metales pesados, que son absorbidos y retenidos en el suelo.

Gómez et al. (2020), evaluaron el contenido de metales traza en el suelo. Para lograr este objetivo, los investigadores realizaron una extracción secuencial de muestras y

posteriormente las analizaron mediante espectrometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos revelaron la presencia de metales pesados en los primeros 50 cm de profundidad del suelo. Además, los investigadores atribuyeron el transporte de estos metales a factores como los cambios de estación y las prácticas de riego en la agricultura.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.

Quispe y Silvestre (2019), evaluaron la concentración de metales pesados en el suelo del área de influencia directa del botadero de Pampachacra, ubicado en el distrito, provincia y departamento de Huancavelica, Perú. El objetivo principal fue correlacionar estas concentraciones con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos, utilizando una metodología diseñada para abordar desafíos prácticos y responder a las necesidades de la sociedad. Los resultados obtenidos revelaron que los niveles de arsénico (As) en el suelo no superaron los ECA-Suelo (50 mg/Kg PS) en las dos estaciones, lluviosa y de estiaje. Esto se confirmó mediante análisis estadístico inferencial, que rechazó la hipótesis de que los niveles de arsénico excedían los límites establecidos. Sin embargo, la investigación identificó un área específica, denominada AROJ (Área Roja), donde se encontraron concentraciones de arsénico que superaron los ECA-Suelo. En esta área, los valores de arsénico fueron de 189.12 mg/Kg PS en la estación seca y de 180.58 mg/Kg PS en la estación lluviosa.

Rojas (2019), llevó a cabo una investigación con el objetivo de caracterizar y evaluar los impactos del botadero de residuos rígidos en la calidad ambiental del AA. HH Los Jardines, durante el período comprendido entre mayo de 2018 y mayo de 2019. La metodología empleada incluyó la caracterización del botadero de la ciudad de Guadalupe y los residuos sólidos depositados en él. Los resultados revelaron que el botadero de Guadalupe recibe aproximadamente 8 807.52 toneladas de residuos sólidos al año, siendo la materia orgánica, como los restos de comida, el componente más abundante (57.3%), seguido por los residuos sanitarios (5.8%) y las bolsas (4.6%). Ante este panorama, se proyecta que la producción de residuos sólidos alcance las 12 285.24

toneladas anuales en los próximos veinte años, lo que evidencia la necesidad urgente de implementar un método de gestión de residuos más eficiente, que incorpore tecnología avanzada y una mejor transformación de los materiales.

Ramos (2019), determinó la presencia y concentración de metales pesados en el botadero de Rumiallana, con el fin de evaluar su impacto como fuente de contaminación en las poblaciones de los distritos de Simón Bolívar y Yanacancha, en la provincia de Pasco, durante el año 2018. La investigación partió de la hipótesis de que en las muestras tomadas del botadero se presentarían diversas concentraciones de los metales mencionados. Tras el análisis de las muestras, se confirmó la presencia de Pb, Zn, Cu, As, Cd, Cr y Hg en el botadero de Rumiallana. Sin embargo, los resultados revelaron que las concentraciones de estos metales pesados se encontraban por debajo de los estándares de calidad ambiental establecidos.

Arellano y Vargas (2022), investigaron los residuos sólidos peligrosos y la calidad del suelo en el botadero de Los Órganos. Para ello, tomaron muestras en cuatro puntos del botadero, realizando calicatas de 9 m² y 60 cm de profundidad, y también obtuvieron una muestra de control en el vivero municipal. La metodología se basó en la guía de muestreo de suelos contaminados. Los resultados mostraron que los niveles de metales en el botadero y el vivero no superaban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Sin embargo, en el vivero municipal se encontró un alto porcentaje de cadmio y bario, probablemente debido al riego con aguas servidas. Además, ambos lugares presentaban suelos alcalinos y bajo contenido de materia orgánica. Se concluye que el suelo del botadero se ve afectado por los residuos sólidos y la incineración natural del metano, producto de las altas temperaturas y la combustión en Los Órganos.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES.

Torres (2018) evaluó la magnitud de la contaminación del suelo en el botadero de Cancharani, ubicado en la ciudad de Puno. El estudio se enfocó específicamente en determinar las concentraciones de metales pesados como cadmio, cobre, plomo, mercurio y arsénico presentes en las muestras de suelo. Los resultados revelaron que los

niveles de plomo, cadmio y cobre excedieron los límites máximos permisibles establecidos, registrando valores de 90 mg/kg para plomo, 2.2 mg/kg para cadmio y 153 mg/kg para cobre. Estos hallazgos sugieren una contaminación significativa por estos metales pesados en el suelo del botadero. No obstante, las concentraciones de arsénico y mercurio se mantuvieron dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos agrícolas, lo que indica que no representan un riesgo de contaminación en el mismo grado que los otros metales mencionados.

Goyzueta et al. (2023) analizaron los parámetros físicos y químicos del suelo en el botadero Cancharani de Puno durante el año 2018. Para ello, se seleccionaron aleatoriamente cinco puntos de muestreo siguiendo la guía establecida por el Ministerio del Medio Ambiente en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. Los análisis de los parámetros físicos y químicos se realizaron en el Laboratorio de Ciencias de la Universidad Privada San Carlos, utilizando el kit de suelo Soil Outfit código 5061 La Motte y el multiparámetro Adwa AD 8000. Los resultados obtenidos revelaron una temperatura promedio del suelo de 16.1 °C y un pH promedio de 7, lo que indica una característica neutra del suelo. La conductividad eléctrica promedio fue de 278 uS/cm. En cuanto a los parámetros químicos, los niveles promedio registrados fueron: Magnesio (Mg) 1.2 ppm, Nitrógeno (N) 84.4 ppm, Fósforo (P) 71.6 ppm, Potasio (K) 32.4 ppm y un contenido de materia orgánica del 0.52%.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar el análisis físico-químico del suelo no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno
- Determinar el análisis físico-químico del suelo contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

- Determinar la variación de los resultados del suelo contaminado y no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EL SUELO.

El suelo, según la definición proporcionada por el glosario de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), se concibe como el material mineral que yace bajo la influencia de factores tanto genéticos como ambientales. Estos últimos engloban elementos como el material parental, el clima, los macro y microorganismos, así como la topografía, todos ellos actuando conjuntamente a lo largo de un período de tiempo determinado.

Además, el suelo se concibe como la capa más superficial de la Tierra, la cual establece una interacción dinámica con la atmósfera y los estratos subyacentes. Esta interacción influye tanto en el clima como en el ciclo hidrológico global, y a su vez, ejerce un impacto significativo en el desarrollo de una amplia gama de organismos (Hillel, 1998). Por consiguiente, el suelo desempeña un papel ambiental de suma importancia, actuando como un reactor biofísico-químico que facilita la descomposición de materiales de desecho y su posterior reciclaje dentro del propio suelo.

La productividad de los suelos está intrínsecamente ligada a su salud. Un suelo saludable se distingue por su óptima capacidad de retención hídrica, su elevada concentración de carbono y su aptitud para la biorremediación de pesticidas, contribuyendo a la mitigación de gases de efecto invernadero. En este contexto, la salud del suelo trasciende la métrica tradicional de productividad expresada en kilogramos de grano por hectárea. Se rige

como un concepto integral que abarca tanto la productividad como la capacidad del suelo para desempeñar una variedad de servicios ambientales esenciales.

Para determinar la salud de un suelo, se analizan dos enzimas clave: la beta glucosidasa, relacionada con el ciclo del carbono, y la arilsulfatasa, vinculada al ciclo del azufre. Estas enzimas, junto con los análisis convencionales de propiedades químicas, físicas y contenido de materia orgánica, ofrecen una evaluación integral de la calidad del suelo. Este enfoque, similar a un "examen de sangre" del suelo, permite identificar problemas de salud subclínicos y anticipar desafíos en la producción agrícola (Roming et al., 1995).

2.1.2. LA CALIDAD DEL SUELO.

Carter et al. (1997), menciona que la calidad del suelo se define como su capacidad para un uso específico sin causar daño al medio ambiente, mientras que su salud se evalúa a lo largo de un extenso período de tiempo. Esta distinción resalta la importancia de considerar tanto el uso actual como la sostenibilidad a largo plazo del suelo.

En este contexto, la salud del suelo se define por el conjunto de propiedades activas que lo caracterizan, tales como el contenido de materia orgánica, la diversidad de organismos presentes y la actividad de los productos microbianos en un momento determinado. En relación con este concepto, es importante señalar que el estudio de la calidad del suelo no es un tema reciente (Doran & Parkin, 1996). Históricamente, el concepto de salud del suelo se confundía con el de productividad agrícola, debido a la falta de distinción entre los términos 'tierra' y 'suelo'. En aquella época, se consideraba que las tierras de buena calidad eran aquellas que alcanzaban niveles máximos de producción con una erosión mínima. Es importante destacar que el significado de calidad del suelo ha estado intrínsecamente ligado al concepto de sostenibilidad, aunque este último ha sido objeto de diversas interpretaciones por diferentes autores. Un ejemplo de ello es la definición propuesta por Budd (1992), quien la concibe como la capacidad de un área determinada para sustentar a una población específica. Además Buol (1995) señala que la calidad del suelo se relaciona con la capacidad de proveer elementos esenciales, ya que estos son finitos y limitan su utilidad y productividad. En consecuencia, el concepto de calidad del

suelo ha ido ganando importancia y evolucionando debido a la multifuncionalidad del suelo. En este contexto, el término 'calidad del suelo' adquirió relevancia a medida que se reconocieron sus diversas funciones. Se destacan tres capacidades clave: (1) mantener la productividad del sistema sin afectar sus propiedades, conocida como productividad biológica sostenible; (2) reducir contaminantes y patógenos, relacionada con la calidad ambiental; y (3) proteger la salud de plantas, animales y humanos..

El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America define la calidad del suelo como su capacidad para funcionar dentro de un ecosistema natural o gestionado, manteniendo la productividad biológica, mejorando la calidad del aire y el agua, y protegiendo la salud humana y el hábitat. (Buol, 1995).

2.1.3. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

Un indicador de calidad del suelo es una herramienta que evalúa la salud y el funcionamiento de un suelo en particular. Este indicador puede estar relacionado con los aspectos químicos, físicos y biológicos del suelo. La calidad del suelo nos permite tener una idea del funcionamiento de la maquinaria biológica del suelo, es decir, si el suelo está funcionando correctamente o no.

A pesar de los avances tecnológicos, no existen métodos o principios establecidos que permitan analizar los niveles de degradación y disminución de la calidad del suelo, ni tampoco su impacto en la humanidad y el medio ambiente (Arshad & Coen, 1992). Por lo tanto, es crucial identificar aquellas variables que permitan evaluar la condición del suelo.

Según Adriaanse (1993), estas variables actúan como indicadores, los cuales funcionan como herramientas de análisis que simplifican, cuantifican y comunican fenómenos complejos relacionados con la calidad del suelo.

Los indicadores de calidad del suelo abarcan propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el suelo (Soil Quality Institute [SQI], 2024). Este enfoque dinámico reconoce que los indicadores de calidad del suelo varían con el tiempo, lo que implica que, en cada situación particular, es necesario establecer un equilibrio entre los tres objetivos del desarrollo sostenible.

2.1.4. CONDICIONES DE CUMPLIMIENTO PARA LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO.

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas como indicadores de calidad, es fundamental que cumplan con ciertas condiciones específicas. Siendo estas las siguientes (Doran & Parkin, 1996):

- a) Relevancia para los procesos del ecosistema.
- b) Integración de propiedades (físicas, químicas y biológicas).
- c) Reflejo de sostenibilidad.
- d) Sensibilidad a variaciones tanto de clima como de manejo.
- e) Accesibles y aplicables en campo.
- f) Consistentes y confiables
- g) Fáciles de interpretar y comunicar
- h) Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- i) Siempre que sea factible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Ciertamente, la calidad del suelo puede ser determinada a través de un conjunto diverso de propiedades. En este contexto, diversos investigadores propusieron una serie de propiedades que pueden ser utilizadas como indicadores para evaluar las transformaciones que experimenta el suelo a lo largo del tiempo. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que los indicadores empleados para evaluar la calidad del suelo pueden variar significativamente de una localidad a otra, influenciados por factores tales como el tipo de suelo y el uso específico que se le dará al terreno (Arshad & Coen, 1992).

a) pH

Según Matos (2003), el pH desempeña un papel fundamental en el crecimiento de los cultivos, ya que influye en el suelo de las siguientes maneras:

- a) Solubilidad de elementos nutritivos.

- b) Desarrollo de los microorganismos
- c) Velocidad de procesos de humificación y de mineralización.
- d) Capacidad de adsorción de cationes en el complejo de cambio.

Los suelos varían en sus características dependiendo de su nivel de pH.

Suelos con pH ácido:

- a) Desarrollo radicular: El ambiente ácido puede ser desfavorable para el crecimiento y desarrollo de las raíces, limitando la absorción de nutrientes y agua.
- b) Pobreza en bases de cambio: Baja concentración de cationes como calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y potasio (K^+), nutrientes esenciales para las plantas.
- c) Reducción de la actividad microbiana: El pH ácido puede inhibir la actividad de microorganismos beneficiosos que son importantes para la descomposición.
- d) Disminución de la asimilación del fósforo: El fósforo tiende a precipitar en formas insolubles cuando el pH es ácido.

Suelos con pH básico:

- a) Alto contenido en bases de cambio: Suelen tener una alta concentración de cationes como calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}).
- b) Bloqueos y antagonismos: Provocado por la presencia de carbonato cálcico (CaCO_3) dificultando la asimilación de hierro, manganeso y zinc por las plantas.
- c) Problemas de impermeabilidad y compacidad: Si el suelo contiene carbonato sódico (Na_2CO_3)

b) Materia orgánica.

De igual forma, la cantidad de materia orgánica presente en el suelo está intrínsecamente ligada a diversos factores, incluyendo el material vegetal de origen, la textura del suelo y el pH. Una proporción adecuada de materia orgánica contribuye al desarrollo de una estructura edáfica saludable, mejorando la aireación del suelo y su capacidad de retención de agua. Asimismo, protege al suelo contra la erosión e incrementa la capacidad total de intercambio catiónico, lo que se traduce en una reserva saludable de nutrientes esenciales para las plantas (Matos, 2003).

La materia orgánica del suelo, esencial para la fertilidad y salud del suelo, está compuesta por una fracción mineralizada con una relación carbono/nitrógeno específica. Esta relación influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, siendo más rápida en presencia de bajos contenidos de celulosa. La dinámica de la materia orgánica comprende dos procesos principales: la mineralización, que libera nutrientes rápidamente, y la humificación, una mineralización lenta que da lugar a compuestos orgánicos estables y duraderos, conocidos como humus. El humus, que puede persistir en el suelo durante décadas, contribuye a la fertilidad a largo plazo al liberar gradualmente nutrientes como nitratos, sulfatos y potasio, así como dióxido de carbono (CO₂), fundamental para los procesos biológicos en ecosistemas agrícolas y naturales.

c) Densidad aparente

La densidad aparente del suelo, definida por Sparling (1997) como la masa de suelo por unidad de volumen (expresada en g.cm⁻³ o t.m³), es un parámetro fundamental para analizar la resistencia del suelo a la penetración de las raíces de las plantas. Además, esta medida resulta esencial para convertir datos de concentraciones a masa o volumen, cálculos de gran importancia en el ámbito de la fertilidad y la fertilización de cultivos extensivos. Es importante destacar que la densidad aparente del suelo puede variar en función de diversos factores. Esta variación es especialmente significativa en terrenos con arcillas expansivas, donde la densidad aparente puede fluctuar en respuesta a los cambios en la humedad del suelo y las prácticas de labranza.

2.1.5. INDICADORES QUÍMICOS

Los indicadores químicos presentados en la Tabla 01 abarcan un conjunto de condiciones que ejercen influencia en las interacciones suelo planta y, por consiguiente, en la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes para plantas y microorganismos (Soil Quality Institute, 2024). Estas alteraciones químicas inciden en la accesibilidad de nutrientes esenciales, incluyendo el carbono orgánico total (COT), el carbono orgánico lábil (CAL), el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de

asimilación de fosfatos, la facilidad de intercambio catiónico, el nitrógeno (tanto total como mineralizable) y, de manera relevante, la materia orgánica.

Tabla 01: Indicadores químicos para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.

Propiedades Químicas	Relación de la situación y función del suelo.	Valores o Unidades relevantes ecológicamente; comparación para evaluación
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	kg de C o N /ha
pH	Define la actividad química y biológica	Comparación entre los límites superior e inferior para la actividad vegetal y microbiana.
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	d/Sm; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P,N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de calidad ambiental.	kg/ha; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos

Fuente: (Larson & Pierce, 1991).

2.1.6. INDICADORES BIOLÓGICOS

Los indicadores biológicos del suelo, como la abundancia y los productos de bacterias, hongos, nemátodos y otros organismos, son cruciales para evaluar la calidad del suelo. Estos organismos influyen en funciones esenciales como la respiración, la descomposición y el aporte de nutrientes. La relación entre el carbono microbiano y el carbono orgánico total es un indicador sensible de cambios en la materia orgánica, aunque puede variar según el tipo de suelo y otros factores. Además de esta relación, otros indicadores biológicos, como la diversidad y actividad de los organismos, son valiosos para determinar la salud y fertilidad del suelo, así como su capacidad para la producción agrícola y otros servicios ecosistémicos. La tabla 2 presenta algunos de los principales indicadores biológicos utilizados en la evaluación de la calidad del suelo (Sparling, 1997).

Tabla 02: Indicadores biológicos para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.

Propiedades Biológicas	Relación de la situación y función del suelo.	Valores o Unidades relevantes ecológicamente; comparación para evaluación
C y N de biomasa microbiana	Potencial catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica.	kg de N o C/ha relativo al C y N total o CO ₂ producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa.	kg de C/ha.d relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	kg de N/ha.d relativo al contenido de C y N total.

Fuente: (Larson & Pierce, 1991).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Botadero: Se define como un sitio destinado a la disposición final de residuos sólidos sin ningún tipo de control técnico ni ambiental. En estos lugares, los residuos no son compactados ni cubiertos diariamente, lo que propicia la generación de olores

desagradables, gases y líquidos contaminantes, conocidos como lixiviados (Larson & Pierce, 1991).

Calidad del suelo: La salud del suelo se define por el conjunto de propiedades activas que lo caracterizan, tales como la cantidad de materia orgánica presente, la diversidad de organismos que alberga y la concentración de productos microbianos en un momento determinado. En este sentido, el estudio de la calidad del suelo no es un concepto novedoso (Doran & Parkin, 1996).

Indicadores de Calidad del suelo: Los indicadores de calidad del suelo abarcan diversos parámetros, entre los que se encuentran el pH, el contenido de materia orgánica, la densidad aparente, así como indicadores químicos y biológicos (Sparling, 1997).

Suelo: El suelo, tal como lo define la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), es el material mineral que constituye la capa más externa de la corteza terrestre. Se caracteriza por ser un producto de la transformación de rocas y minerales preexistentes, influenciado por factores genéticos y ambientales que actúan durante un período de tiempo determinado.

2.3. MARCO NORMATIVO

- **Artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente,** reconoce el derecho irrenunciable de toda persona a vivir en un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida
- **Artículo 3° de la Ley N° 28611** establece las normas necesarias para garantizar los derechos y el cumplimiento de las obligaciones ambientales.
- **El artículo 31° de la Ley N° 28611** define los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- **Artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013** asigna al Ministerio del Ambiente la función de elaborar los ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP)
- **La Política Nacional del Ambiente,** aprobada por Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, incluye entre sus lineamientos la necesidad de contar con parámetros de contaminación para el control de la calidad ambiental.

- **Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.** Establece los límites de concentración de diversas sustancias en el suelo que no representan un riesgo significativo para la salud humana ni el ambiente.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.

Existe contaminación en el suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El distrito de Acora, en la provincia de Puno, Perú, se encuentra en el altiplano a 3,867 m s. n. m., a orillas del Lago Titicaca. Su clima varía según la altitud: frío templado y húmedo en la zona media, frío intenso y seco en la cordillera, y templado húmedo a frío en la zona lacustre. Estas condiciones favorecen la agricultura semi-intensiva y la ganadería. Sus coordenadas geográficas son 15°58'30"S 69°48'15"O.

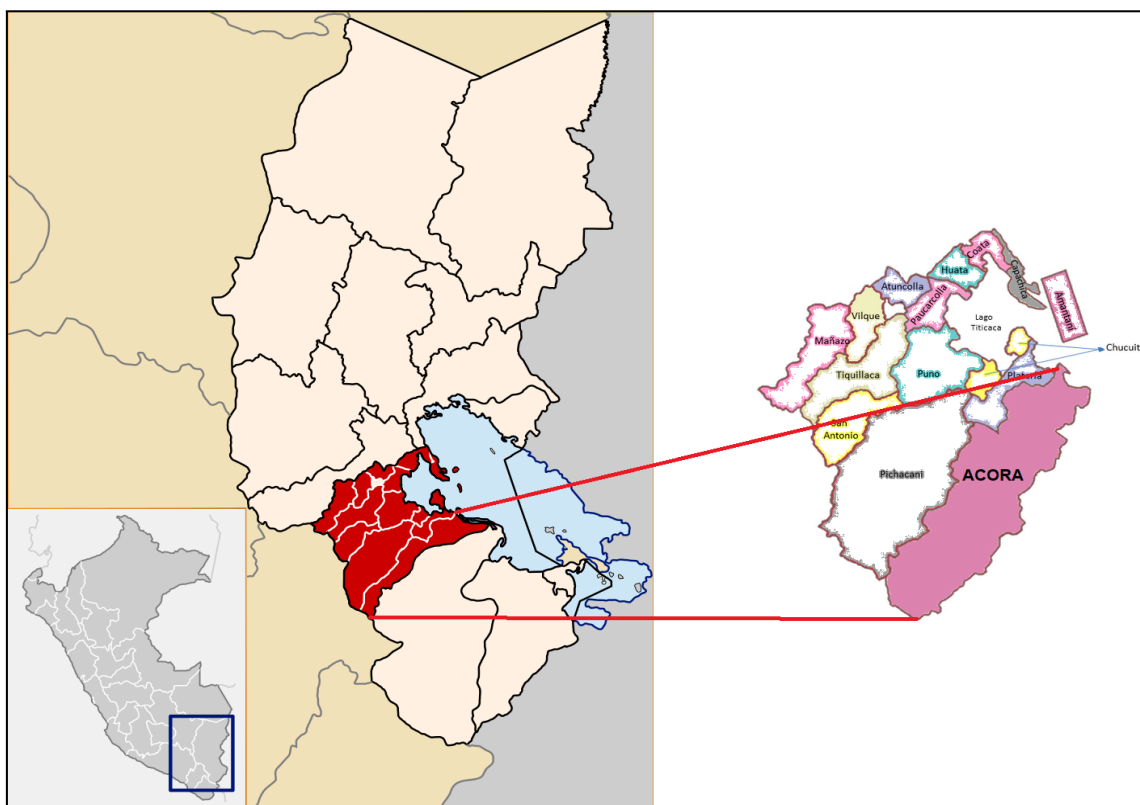


Figura 01: Ubicación del Distrito de Puno.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN.

La población estuvo conformada por todo el terreno donde estaba ubicado el botadero antiguo denominado “Yanamuni - Apacheta”, ubicada en el distrito de Acora, terreno que alcanza un extensión de 1.90 hectáreas (OEFA, 2022), tal como se puede apreciar en la figura 02.



Figura 02: Ubicación del terreno del botadero antiguo “Yanamuni - Apacheta” respecto a la ciudad de Acora.

Fuente: Adaptado de las imágenes Google Maps.

3.2.3. MUESTRA.

Dado que la muestra debía representar a la población, las 1.90 hectáreas de estudio presentaban características homogéneas en altura y tipo de suelo. Debido a su extensión limitada y la uniformidad del terreno, se seleccionaron dos puntos específicos para el muestreo.

Tabla 03: Puntos de muestreo de la investigación.

Denominación	Descripción	Ubicación
		Coordenada UTM
M1	Suelo no contaminado en el ZONA 19 botadero.	ESTE 413784,5 NORTE 8231545,9
M3	Suelo contaminado en el ZONA 19 botadero.	ESTE 413783,6 NORTE 8231564,3

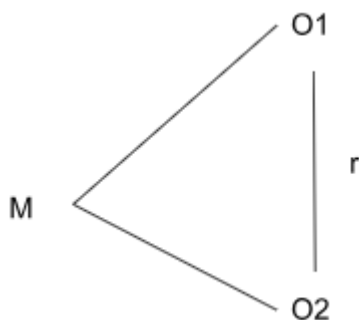
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Es descriptiva; porque se recolectó información de varias muestras sobre un mismo fenómeno a fin de comparar los datos recogidos.

3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

No experimental.



Donde:

M es la muestra donde se realiza el estudio.

O1: Son las observaciones obtenidas en la muestra del suelo contaminado.

O2: Son las observaciones obtenidas en la muestra del suelo no contaminado.

La “r” es la comparación que puede ser expresada en términos de diferencias entre ambas observaciones.

3.3.3. MÉTODO.

Deductivo - Cualitativo.

3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

a. Para el cumplimiento del primer objetivo específico.

- **Técnica de muestreo de suelo.**

Se seleccionó el lugar donde se obtuvo el primer tipo de suelo, el cual fué uno contiguo al terreno donde se ubicaba el botadero, el cual no ha sido contaminado y se le ha denominado M1, por lo que denominaremos TESTIGO.

- **Toma de las muestras.**

Para obtener las muestras de suelo, se delimitó el área de muestreo y se extrajeron 10 muestras simples para conformar una muestra compuesta, la cual fue enviada al laboratorio. Esta muestra compuesta se obtuvo al mezclar varias submuestras (de 0.5 a 1 kg de suelo), recomendándose entre 10 y 20 submuestras por parcela. Se empleó un muestreo aleatorio en zigzag, con extracción mediante calicatas de 0.40 m x 0.40 m y 0.30 m de profundidad. Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas y transportadas al laboratorio.

b. Para el cumplimiento del segundo objetivo específico.

- **Técnica de muestreo de suelo.**

El segundo terreno seleccionado correspondió a un suelo propio del mismo botadero, donde se depositaron los residuos sólidos y que fue denominado M2.

- **Toma de las muestras.**

Para el muestreo de suelo, se delimitó el área y se extrajeron 10 muestras simples para conformar una muestra compuesta, la cual fue enviada al laboratorio. Esta se obtuvo al mezclar varias submuestras (de 0.5 a 1 kg de suelo) y fue una práctica común en la planificación de la fertilización. Se recomendaron entre 10 y 20 submuestras por parcela. Se empleó un muestreo aleatorio en zigzag, con extracción mediante calicatas de 0.40 m

x 0.40 m y 0.30 m de profundidad. Las muestras fueron almacenadas y transportadas adecuadamente al laboratorio.

c. Para el cumplimiento del tercer objetivo específico.

Una vez obtenidos los resultados del laboratorio, se procedió a analizar y comparar los parámetros fisicoquímicos del suelo de las dos muestras seleccionadas (M1 y M2). Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

Organización de datos

- Se recopilaron los resultados de laboratorio en una base de datos o tabla, diferenciando cada muestra.
- Se verificó que los datos fueran consistentes y no presentaran errores o inconsistencias.

Selección de parámetros a comparar

Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros fisicoquímicos relevantes:

- Textura del suelo: Proporción de arena, limo y arcilla, lo que influye en la retención de agua y nutrientes.
- Densidad aparente y porosidad: Relación entre el volumen del suelo y su masa seca, indicando la compactación del suelo.
- Humedad (contenido de H₂O): Cantidad de agua retenida en el suelo, importante para la disponibilidad hídrica de las plantas.
- Conductividad eléctrica (CE - Salinidad): Mide la concentración de sales solubles, afectando la disponibilidad de nutrientes.
- Potencial de hidrógeno (pH): Indica la acidez o alcalinidad del suelo, influyendo en la absorción de nutrientes.
- Materia orgánica (M.O.): Cantidad de residuos orgánicos descompuestos, esencial para la fertilidad y actividad microbiana del suelo.

Análisis comparativo de los datos

- Se compararon los valores obtenidos de la muestra M1 con los de M2, utilizando gráficos, tablas y medidas estadísticas cuando fue necesario.
- Se identificaron diferencias significativas entre las muestras, determinando posibles variaciones en la fertilidad, salinidad o retención de agua.

Interpretación de resultados

- Se evaluó si los valores obtenidos cumplían con los estándares agronómicos recomendados.
- Se analizó la influencia de los parámetros en la calidad del suelo y su aptitud para actividades agrícolas.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 05: Operacionalización de Variables de la investigación.

Variable	Definición	Indicador o definición operativa	Escala de medición	Categoría y valores
Contaminación del suelo en el botadero antiguo	El suelo está constituido por capas dominadas por	Textura (Arena, limo y arcilla)	Razón	Numérico
		Densidad (Porosidad)	Razón	Numérico
		Humedad (Contenido de H ₂ O)	Razón	Numérico
Yanamuni	dos tipos de	Conductividad eléctrica	Razón	Numérico
Apacheta	fracciones: mineral y orgánica.	(CE Salinidad)	Intervalo	Numérico
		Potencial de hidrógeno (pH)	Intervalo	Numérico
		Materia orgánica (M.O.)		

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO NO CONTAMINADO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO.

Tabla 06: Concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo no contaminado.

N°	Parámetros	Unidad	Valor
1	Arena	%	60.00
2	Arcilla	%	15.00
3	Limo	%	25.00
4	Clase textural	Tipo	Franco arenoso
5	CO ₃ ⁻	%	0.00
6	Materia Orgánica	%	2.00
7	Nitrógeno total	%	0.10
8	pH	Unidad	6.64
9	Conductividad eléctrica	mS/cm	0.40
10	Fósforo disponible	ppm	12.02
11	Potasio disponible	ppm	120.00
12	Calcio cambiante Ca ²⁺	me/100 g	2.20

13	Magnesio Mg^{2+}	me/100 g	1.90
14	Potasio cambiante K^+	me/100 g	1.02
15	Sodio cambiante Na^+	me/100 g	0.80
16	Aluminio cambiante Al^{3+}	me/100 g	0.00
17	Capacidad de intercambio catiónico	me/100 g	10.00
18	Saturación de bases	%	59.20

Interpretación: Como puede apreciarse en la tabla 06, el análisis físico-químico del suelo no contaminado en el antiguo botadero Yanamuni Apacheta, evidenció características favorables para un suelo en condiciones naturales. En cuanto a la composición granulométrica, se determinó un contenido de arena del 60 %, limo del 25 % y arcilla del 15 %, lo que clasifica al suelo dentro de la textura franco arenosa. Esta textura indica una buena aireación y drenaje, aunque con menor capacidad de retención de agua y nutrientes en comparación con suelos más arcillosos.

El valor de pH fue de 6.64, lo que corresponde a un suelo ligeramente ácido, dentro del rango óptimo para el crecimiento de la mayoría de cultivos. La conductividad eléctrica registrada fue de 0.40 mS/cm, lo que indica que el suelo no presenta problemas de salinidad. En relación con la materia orgánica, se obtuvo un valor de 2.00 %, lo cual se considera aceptable y favorable para mantener la estructura del suelo y su fertilidad. El nitrógeno total alcanzó un valor de 0.10 %, clasificado como bajo a medio, mientras que el fósforo disponible fue de 12.02 ppm, valor que se considera medio según los rangos de referencia. Por su parte, el potasio disponible fue de 120 ppm, indicando una adecuada disponibilidad de este nutriente esencial.

Respecto a los cationes intercambiables, se obtuvo una concentración de calcio de 2.20 meq/100g, magnesio de 1.90 meq/100g, potasio de 1.02 meq/100g, sodio de 0.80 meq/100g y una ausencia de aluminio (0.00 meq/100g), lo cual es positivo, ya que la presencia de este último podría representar toxicidad en suelos ácidos. La capacidad de

intercambio catiónico (CIC) fue de 10.00 meq/100g, lo que indica una moderada capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes a las plantas. Finalmente, la saturación de bases fue de 59.20 %, valor que refleja una disponibilidad aceptable de cationes básicos, fundamentales para la nutrición vegetal.

En conjunto, estos resultados muestran que el suelo no contaminado del área de estudio **presenta condiciones físico-químicas adecuadas**, sirviendo como una línea base para comparar con el suelo afectado por residuos sólidos, permitiendo así identificar la magnitud del impacto generado por el botadero.

4.2. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO CONTAMINADO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO.

Tabla 07: Concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo contaminado.

N°	Parámetros	Unidad	Valor
1	Arena	%	68.00
2	Arcilla	%	12.00
3	Limo	%	20.00
4	Clase textural	Tipo	Franco arenoso
5	CO ³⁻	%	0.00
6	Materia Orgánica	%	1.90
7	Nitrógeno total	%	0.09
8	pH	Unidad	6.62
9	Conductividad eléctrica	mS/cm	0.30
10	Fósforo disponible	ppm	11.95

11	Potasio disponible	ppm	110.00
12	Calcio cambiable Ca^{2+}	me/100 g	2.10
13	Magnesio Mg^{2+}	me/100 g	1.80
14	Potasio cambiable K^+	me/100 g	1.00
15	Sodio cambiable Na^+	me/100 g	0.70
16	Aluminio cambiable Al^{3+}	me/100 g	0.00
17	Capacidad de intercambio catiónico	me/100 g	9.90
18	Saturación de bases	%	56.56

Interpretación: De acuerdo a los resultados de la tabla 07, el análisis físico-químico del suelo contaminado en el antiguo botadero Yanamuni Apacheta, permitió identificar variaciones respecto al suelo no contaminado. En primer lugar, la composición granulométrica muestra un incremento en el contenido de arena (68 %) y una reducción en los porcentajes de arcilla (12 %) y limo (20 %), manteniéndose dentro de la clasificación textural de suelo franco arenoso. Esta textura favorece la aireación y el drenaje, aunque con menor capacidad de retención de humedad y nutrientes, lo cual puede verse más afectado en condiciones de contaminación.

El pH del suelo fue de 6.62, valor prácticamente igual al registrado en el suelo no contaminado (6.64), indicando que no se ha producido una alteración significativa en la acidez del suelo. La conductividad eléctrica se redujo a 0.30 mS/cm, manteniéndose dentro del rango de suelos no salinos, sin indicios de acumulación de sales solubles. En cuanto a la materia orgánica, se observó una leve disminución hasta 1.90 %, lo cual podría atribuirse a procesos de degradación de residuos o a una menor actividad biológica del suelo contaminado. El nitrógeno total también presentó una ligera reducción

a 0.09 %, lo que podría reflejar una disminución en la capacidad del suelo para sostener ciclos de nutrientes esenciales.

El fósforo disponible alcanzó un valor de 11.95 ppm y el potasio disponible fue de 110 ppm, ambos ligeramente menores que en el suelo no contaminado, aunque aún dentro de rangos considerados medios y aceptables para suelos agrícolas. Respecto a los cationes intercambiables, el calcio disminuyó a 2.10 meq/100g, el magnesio a 1.80 meq/100g, el potasio a 1.00 meq/100g y el sodio a 0.70 meq/100g. Si bien estas reducciones son leves, reflejan una tendencia hacia la disminución de la fertilidad química del suelo. Es importante resaltar que, al igual que en el suelo no contaminado, no se detectó la presencia de aluminio intercambiable, lo cual es un aspecto favorable.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se redujo a 9.90 meq/100g, lo que representa una leve disminución de la capacidad del suelo para retener nutrientes. Asimismo, la saturación de bases fue de 56.56 %, valor también menor en comparación al suelo no contaminado (59.20 %), lo que sugiere una ligera pérdida en la disponibilidad de cationes esenciales para las plantas.

En conjunto, los resultados indican que el suelo contaminado mantiene características similares al suelo no contaminado en términos generales, **pero presenta ligeras reducciones en materia orgánica, nutrientes, cationes intercambiables y capacidad de retención de nutrientes**, lo cual puede ser atribuido a los efectos de los residuos depositados en el botadero. Estas variaciones permiten identificar un impacto moderado en la calidad edáfica del suelo, que podría acentuarse en el tiempo si no se toman medidas de remediación o manejo adecuado del área afectada.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL SUELO CONTAMINADO Y NO CONTAMINADO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO.

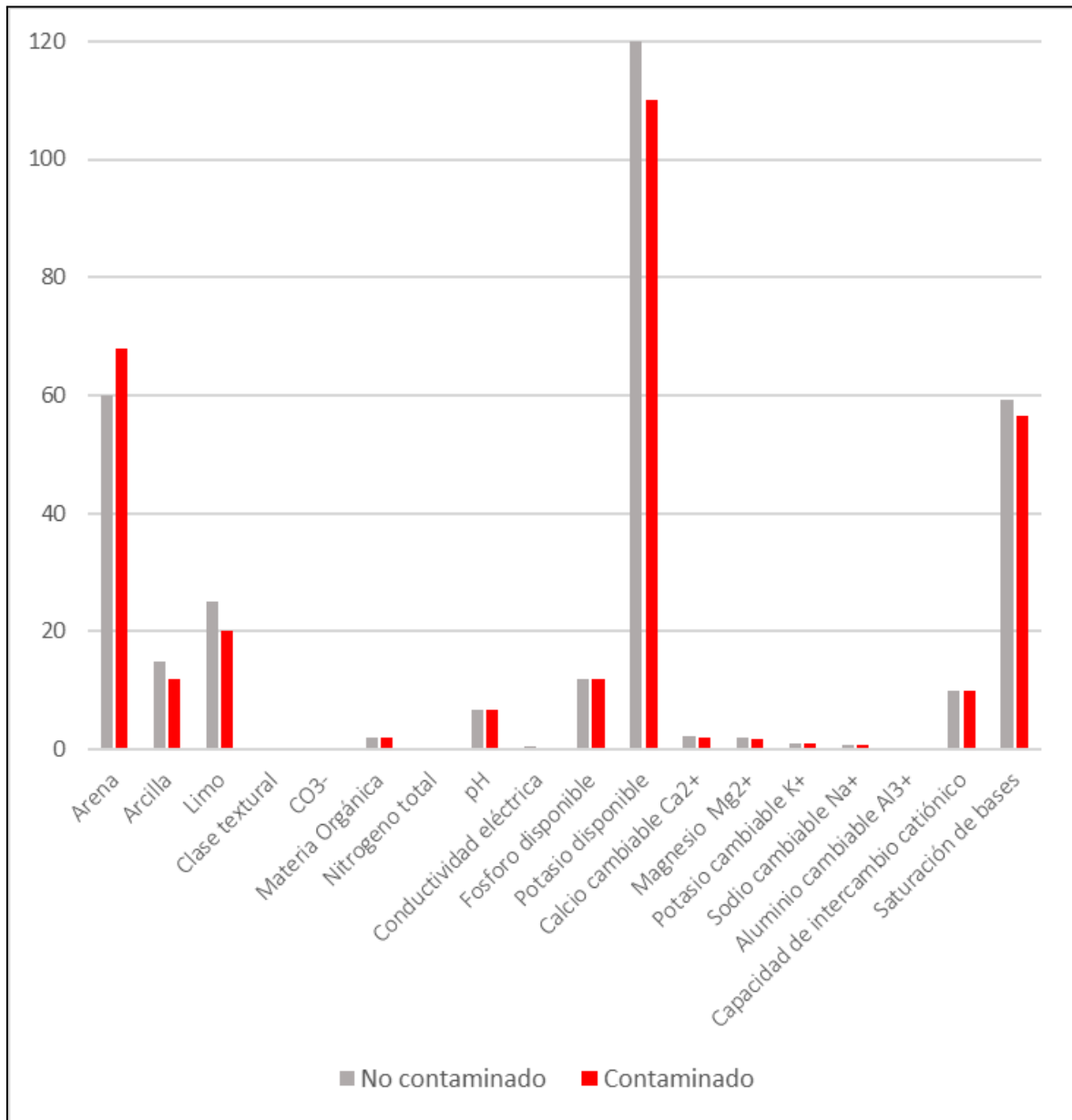


Figura 03: Variación de los parámetros del suelo contaminado y no contaminado.

Interpretación: De acuerdo a la figura 03, se aprecia la comparación entre el suelo no contaminado y el suelo contaminado del antiguo botadero Yanamuni Apacheta mostrado en la figura 03, se evidencia diferencias sutiles pero significativas en diversos parámetros físico-químicos, lo cual permite inferir los efectos de la acumulación prolongada de residuos sólidos sobre la calidad del suelo.

En cuanto a la textura, ambos suelos fueron clasificados como **franco arenosos**; sin embargo, el suelo contaminado mostró un mayor porcentaje de arena (68 %) y una reducción tanto de limo (20 %) como de arcilla (12 %), frente a los valores del suelo no contaminado (60 % de arena, 25 % de limo y 15 % de arcilla). Esta variación sugiere una ligera modificación en la estructura del suelo, posiblemente causada por la mezcla de materiales extraños con la matriz natural, que tiende a disminuir la capacidad de retención de agua y nutrientes.

El **pH** se mantuvo prácticamente constante en ambos suelos, con valores de 6.64 en el no contaminado y 6.62 en el contaminado, lo que indica que **no ha habido alteraciones importantes en la acidez del suelo**. En cambio, la **conductividad eléctrica** fue menor en el suelo contaminado (0.30 mS/cm) frente al suelo no contaminado (0.40 mS/cm), aunque ambos se encuentran dentro del rango de suelos no salinos.

Respecto a la **materia orgánica**, se evidenció una leve disminución en el suelo contaminado (1.90 %) frente al suelo no contaminado (2.00 %). Este descenso, aunque pequeño, podría relacionarse con una menor actividad biológica o con procesos de degradación de residuos orgánicos. De forma similar, el **nitrógeno total** pasó de 0.10 % a 0.09 %, lo que sugiere una leve reducción de este macronutriente esencial.

En el caso del **fósforo disponible**, el suelo contaminado registró un valor de 11.95 ppm frente a 12.02 ppm en el no contaminado; mientras que el **potasio disponible** disminuyó de 120 ppm a 110 ppm. Estas reducciones reflejan una **disminución ligera en la fertilidad del suelo contaminado**, que puede afectar el desarrollo vegetal si se intensifica con el tiempo.

En cuanto a los **cationes intercambiables**, se observó una tendencia general a la baja en el suelo contaminado. El calcio pasó de 2.20 a 2.10 meq/100g, el magnesio de 1.90 a 1.80 meq/100g, el potasio de 1.02 a 1.00 meq/100g y el sodio de 0.80 a 0.70 meq/100g. Aunque los valores siguen siendo aceptables, esta disminución sostenida puede comprometer la disponibilidad de nutrientes a largo plazo. En ambos suelos no se detectó **aluminio intercambiable**, lo cual es favorable desde el punto de vista toxicológico.

La **capacidad de intercambio catiónico (CIC)** se redujo ligeramente de 10.00 meq/100g en el suelo no contaminado a 9.90 meq/100g en el suelo contaminado, lo que representa una leve pérdida en la capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes. Asimismo, la **saturación de bases** disminuyó de 59.20 % a 56.56 %, confirmando una menor proporción de cationes básicos disponibles en el suelo afectado por residuos.

En síntesis, el análisis comparativo evidencia que el suelo contaminado presenta **una ligera degradación en su estructura, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico**. Si bien los cambios aún no son extremos, reflejan un impacto moderado derivado del uso del terreno como botadero de residuos, lo cual podría agravarse si persiste la exposición sin medidas de remediación. Esta comparación resulta crucial para justificar la necesidad de acciones de recuperación del suelo y manejo ambiental adecuado del sitio afectado.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

A diferencia del estudio de Pullugando (2018) en Ecuador, donde se identificaron niveles elevados de cadmio (hasta 0.05 mg/L) y plomo (hasta 0.52 mg/L) en los lixiviados del relleno sanitario, en la presente investigación no se incluyó la evaluación de metales pesados, lo que representa una limitación importante para establecer comparaciones más profundas respecto al grado de toxicidad del suelo. Asimismo, mientras que Pullugando atribuía la presencia de estos metales al vertimiento de baterías, PVC y cerámicas, en Yanamuni Apacheta no se ha realizado una caracterización detallada del tipo de residuos sólidos vertidos, lo cual impide establecer nexos causales con posibles contaminantes específicos.

La contradicción se acentúa al comparar los resultados con los de Balcázar et al. (2020) en México, quienes reportaron una fuerte absorción de metales pesados (Cd, Ni, Cr, Pb) en el suelo debido al intercambio catiónico entre el lixiviado y la matriz edáfica. En contraste, en Yanamuni Apacheta, si bien se ha evaluado la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que fue de 10.00 meq/100g en el suelo no contaminado y de 9.90 meq/100g en el contaminado, no se ha investigado si este mecanismo ha favorecido la

retención de metales pesados en el suelo. Esta omisión metodológica impide confirmar o refutar la hipótesis de acumulación de elementos traza tóxicos, a pesar de que el sitio ha funcionado como botadero.

Del mismo modo, los hallazgos de Gómez et al. (2020) en relación con la movilidad de metales traza en los primeros 50 cm de profundidad del suelo, influenciados por las estaciones y el riego agrícola, representan un enfoque que también contrasta con el presente estudio. En Yanamuni Apacheta no se realizó muestreo estratificado por profundidad ni se evaluó la influencia de factores climáticos o agrícolas, lo cual deja abierta la posibilidad de que metales o contaminantes no detectados superficialmente sí estén presentes a mayor profundidad.

En el contexto nacional, el estudio de Quispe y Silvestre (2019) en el botadero de Pampachacra (Huancavelica) reveló niveles críticos de arsénico en una zona específica (hasta 189.12 mg/kg), superando los ECA-suelo. En cambio, en la presente investigación, no se realizó ningún análisis para determinar la presencia de arsénico ni de otros metales pesados, lo que limita la posibilidad de identificar zonas críticas o puntos calientes de contaminación dentro del área del botadero.

Por otro lado, investigaciones como la de Ramos (2019) en Pasco y Torres (2018) en Cancharani, Puno, sí han reportado concentraciones específicas de metales como Pb, Zn, Cu, As y Cd, algunas de las cuales superaron los límites normativos. La ausencia de datos de este tipo en la presente tesis representa una contradicción metodológica importante: mientras otros estudios en botaderos similares priorizan la identificación de metales pesados por su impacto sobre la salud pública y ambiental, en Yanamuni Apacheta la evaluación se centró únicamente en parámetros físico-químicos básicos, como textura, pH, materia orgánica, y elementos nutricionales (N, P, K), sin extenderse a indicadores de contaminación crítica.

Finalmente, los resultados obtenidos en Yanamuni Apacheta presentan algunas similitudes con lo reportado por Arellano y Vargas (2022) en el botadero de Los Órganos, donde tampoco se encontraron superaciones a los ECA-suelo para metales, pero sí se

advirtió sobre los efectos acumulativos de la incineración natural y la baja materia orgánica. En este sentido, los valores de materia orgánica en el suelo contaminado (1.90 %) y no contaminado (2.00 %) de Yanamuni se mantienen dentro de rangos aceptables, aunque ligeramente bajos, lo que puede influir en la disminución de la fertilidad y capacidad biótica del suelo.

En cuanto a los antecedentes locales, como el de Goyzueta et al. (2023) en el botadero Cancharani, se observa una marcada diferencia en los niveles de nutrientes: mientras que en Cancharani se reportaron niveles elevados de fósforo (71.6 ppm), potasio (32.4 ppm) y nitrógeno (84.4 ppm), en Yanamuni Apacheta los valores son considerablemente más bajos (P: 12.02 ppm, K: 120 ppm, N total: 0.09-0.10 %), lo cual podría estar relacionado con diferencias en la composición de los residuos o en las prácticas de gestión.

4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Dada la siguiente afirmación: Existe contaminación en el suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

Planteado la hipótesis nula:

H₀: No existe contaminación en el suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

Planteamos la hipótesis alterna:

H₁: Existe contaminación en el suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.

En base a los resultados de la tabla 06: “Concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo no contaminado”, tabla 07: “Concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo contaminado” y la figura 03. “Variación de los parámetros del suelo contaminado y no contaminado”, en síntesis, el análisis comparativo evidencia que el suelo contaminado presenta una ligera degradación en su estructura, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico, por lo que rechazamos la hipótesis nula **H₀** y **aceptamos la H₁**.

CONCLUSIONES

PRIMERA. La contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, realizada la evaluación de parámetros fisicoquímicos básicos, se concluye que existe la leve disminución del contenido de materia orgánica, la saturación de bases (56.56 %) y la conductividad eléctrica (0.30 mS/cm) en el suelo contaminado podrían indicar alteraciones en la calidad edáfica relacionadas con la acumulación prolongada de residuos sólidos urbanos del botadero, aunque sin evidencia directa de toxicidad.

SEGUNDA. El análisis físico-químico del suelo no contaminado, se determinó que este presenta una textura franco arenosa, con un contenido de arena del 68 %, limo 20 % y arcilla 12 %. Su pH de 6.78 indica una acidez ligeramente neutra, adecuada para procesos biológicos del suelo. La materia orgánica alcanzó 2.00 %, un valor aceptable pero no óptimo para suelos agrícolas. Además, se registraron valores adecuados de fósforo (12.02 ppm), potasio (130.00 ppm), nitrógeno total (0.10 %) y una conductividad eléctrica baja (0.27 mS/cm), lo que indica una salinidad normal. En general, el suelo no contaminado mantiene características edafológicas favorables.

TERCERA. El análisis físico-químico del suelo contaminado, se identificó que mantiene una textura similar al suelo no contaminado (franco arenosa), sin alteraciones significativas en su estructura física. Sin embargo, se evidenció una ligera reducción del contenido de materia orgánica (1.90 %) y de nutrientes como el potasio (110 ppm) y el nitrógeno total (0.09 %), lo que podría afectar la fertilidad y productividad del suelo a largo plazo. El pH fue de 6.62 (ligeramente ácido) y la conductividad eléctrica fue mayor (0.30

mS/cm) en comparación con el suelo no contaminado, lo que puede asociarse a la acumulación de lixiviados o residuos solubles.

CUARTA. La variación entre los resultados del suelo contaminado y no contaminado, se observa que las diferencias son mínimas pero significativas a nivel de fertilidad y calidad edáfica. El suelo contaminado mostró menores valores de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio, y una ligera mayor conductividad eléctrica, lo que indica posibles procesos de degradación progresiva por efecto de los residuos depositados. No obstante, la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases no presentan cambios drásticos entre ambos suelos, lo cual sugiere que el suelo aún conserva capacidad para retener nutrientes, aunque podría verse afectada con el tiempo si continúa la exposición a residuos sin tratamiento adecuado.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. A la Municipalidad Distrital de Acora, se recomienda implementar un monitoreo periódico de la calidad del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, ampliando los parámetros de análisis para incluir metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes, a fin de identificar posibles riesgos a la salud humana y al ecosistema local.

SEGUNDA. A las autoridades comunales del distrito de Acora, se recomienda conservar y proteger las áreas de suelo no contaminado, además, se sugiere promover prácticas de recuperación de suelos mediante la aplicación de abonos orgánicos y rotación de cultivos, con el objetivo de mantener la fertilidad del suelo y evitar su degradación futura.

TERCERA. A la Gerencia de Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Municipalidad de Acora, se recomienda desarrollar un plan de cierre o rehabilitación progresiva del botadero, incorporando técnicas de remediación de suelos como biorestauración (uso de microorganismos y plantas) para mejorar la calidad del suelo contaminado.

CUARTA. A investigadores y entidades académicas, se recomienda realizar investigaciones complementarias comparativas, incluyendo ensayos de toxicidad del suelo y análisis de profundidad, que permitan explicar con mayor precisión los cambios fisicoquímicos entre suelos contaminados y no contaminados. Asimismo, se sugiere generar propuestas de tecnologías adecuadas de manejo post-botadero, que puedan aplicarse de manera sostenible en contextos similares del altiplano puneño.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriaanse, A. (1993). *Environmental Policy Performance Indicators (A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands)*.
- Arellano Moretti, J. M., & Vargas Janampa, K. (2022). Determinación de residuos sólidos peligrosos y la calidad del suelo en el botadero del Distrito de Los Órganos-TalaraPiura. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92130>
- Arhuata Peraza, H. (2024). Propuesta de diseño de un relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos del distrito de Acora, Puno – 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/771>
- Arshad, M., & Coen, G. (1992). *Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria* (American J. of Alternative Agriculture).
- Balcazar, I. R. R., Rodríguez, A. C. G., Ocaña, J. A. G., & Ocaña, G. 1* L. (2020). Efectos de Contaminantes en Suelo por un Vertedero a Cielo Abierto en Tabasco. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 4(1), Article 1.
<https://doi.org/10.19136/jeeos.a4n1.3473>
- Banco Mundial. (2018). *Los desechos: Un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. World Bank.
<https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Budd, W. (1992). *What capacity the land* (Vol. 47). Editorial Soil Water Conservation.
- Buol, S. (1995). *Sustainability of soil use* (Annual Review of Ecology and Systematic).
- Carter, M., Gregorich, E., Anderson, D., Doran, J., Janzen, H., & Piece, F. (1997). *Concepts of soil quality and their significance* (En Soil quality for crop production and ecosystem health (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.)). Elsevier Science Publishers.
- Doran, J., & Parkin, B. (1996). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (Inc. Special Publication). Madison.

- Pullugando Guevara, J. M. (2018). *Caracterización físico química de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Cantón Baños de Agua Santa*. [bachelorThesis, Universidad Estatal Amazónica].
<https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/469>
- Quispe, C., & Silvestre, 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* [Universidad Nacional de Huancavelica].
<https://repositorio.unh.edu.pe/items/d90a537b-c2c4-454f-a4cb-0c11594960d7>
- Ramos Peña, D. V. (2019). Determinación de Pb, Zn, Cu, As, Cd, Cr y Hg en el botadero de Rumiallana como fuente de contaminantes a las poblaciones del Distrito de Simón Bolívar y Yanacancha-Provincia de Pasco-2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1022>
- Rojas Albitres, R. J. (2019). *Impactos del botadero de residuos sólidos de la Ciudad de Guadalupe en la calidad ambiental del área de influencia*.
- Roming, D., Garlynd, M., Harris, R., & Mcsweeney, K. (1995). *How farmers assess soil health and quality*. J. Soil Water Conservation.
- Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo. (1984). *Glosario de términos de la ciencia del suelo*. Madison.
- Sparling, G. (1997). *Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health* (En Biological Indicators of Soil Health).
- Torres Quispe, N. E. (2018). *Evaluación de la concentración de metales pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb en el botadero de Cancharani de la ciudad de Puno*.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia de la investigación.
CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN EL BOTADERO ANTIGUO YANAMUNI APACHETA, DISTRITO DE ACORA, PROVINCIA DE PUNO-2025.

PROBLEMA	OBJETIVOS		HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO					
¿Cómo es la contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?	Evaluar la contaminación del suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.		Existe contaminación en el suelo en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.	VARIABLE INDEPENDIENTE: La contaminación del suelo.	-Análisis Físico - Análisis Químico	Herramientas de excavación. Instrumentos de laboratorio contratado para análisis.	Estadística Descriptiva.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO						
¿Cuál es el resultado del análisis físico-químico del suelo no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?	Determinar el análisis físico-químico del suelo no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno						
¿Cuál es el resultado del análisis físico-químico del suelo contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?	Determinar el análisis físico-químico del suelo contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.						
¿Cuál es la variación de los resultados del suelo contaminado y no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno?	Determinar la variación de los resultados del suelo contaminado y no contaminado en el botadero antiguo Yanamuni Apacheta, distrito de Acora, provincia de Puno.						

Anexo 02: Análisis de laboratorio.



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO 056/MQA
ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO.

PROCEDENCIA : BOTADERO ANTIGUO DIST. DE ACORA – PUNO
M – 01 = NO CONTAMINADO.
M – 02 = CONTAMINADO.
INTERESADO : MAGDALENA ESTEFANI ORDOÑO RAMOS
MOTIVO : ANALISIS FISICO – QUIMICO.
FECHA DE MUESTREO : 25/04/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANALISIS : 25/04/2025.

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	CO ₃ ⁺ %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01	M-01	60	15	25	Franco Arenoso	0.00	2.00	0.10
	M-02	68	12	20	Franco Arenoso	0.00	1.90	0.09

# ORD	CLAVE DE CAMPO	pH	C.E. mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺		
01	M-01	6.64	0.40	12.02	120	2.20	1.90	1.02	0.80	0.00	10.00	59.20
	M-02	6.62	0.30	11.95	110	2.10	1.80	1.00	0.70	0.00	9.90	56.56

FArA = Franco arcillo arenoso
Ar = Arcilloso
FA = Franco arenoso
CIC= Capacidad Intercambio Cationico
N = Nitrógeno total
K⁺ = Potasio cambiante
A= Arena
Ca²⁺= Calcio cambiante
Na⁺= Sodio cambiante
CO₃⁺ = Carbonatos
me = miliequivalente.

FAr = Franco arcilloso
M.O.=Materia orgánica
P = Fósforo disponible
K = Potasio disponible
C.E. = Conductividad eléctrica
SB = Saturación de bases
Mg²⁺ = Magnesio cambiante
mS/cm = milisiemens por centímetro
C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto
Al³⁺ = Aluminio cambiante
NC= no corresponde

Benito Fernández Callozapaza
RUC: 20612800741
GERENTE

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pέργola - Puno
Cel. 973296546 - 983003185

Escaneado con CamScanner



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

METODOLOGIA DE ANALISIS

Parámetro	Método Analítico	Instrumento/Procedimiento
Clase textural	Método del hidrómetro o tamizado	Hidrómetro, tamices, dispersante químico
Arena, limo, arcilla	Método del hidrómetro o tamizado	Hidrómetro, tamices, balanza analítica
pH	Potenciometría	Potenciómetro calibrado, relación 1:2.5 muestras de tierra:agua
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimetría	Conductímetro, relación 1:5 muestras de tierra:agua
Materia orgánica (MO)	Método de Walkley-Black	Digestión química con dicromato de potasio
Nitrógeno total	Método Kjeldahl	Digestor Kjeldahl y destilador
Fósforo disponible	Método de Olsen	Espectrofotómetro UV-Vis
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Absorción Atómica
Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Valoración por titulación
Calcio cambiante (Ca)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio cambiante (Mg)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio cambiante (Na)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de emisión de llama
Potasio cambiante (K)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de emisión de llama
Aluminio cambiante (Al)	Extracción con KCl 1N	Valoración con NaOH
Carbonatos (CO ₃ -2)	Método volumétrico con HCl	Aparato de Bernard

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pέργola - Puno
Cel. 973296546 - 983003185

Escaneado con CamScanner

Anexo 03: Galería fotográfica.



Fotografía 01. Vista panorámica de la zona de estudio (Botadero antiguo).



Fotografía 02. Preparación de herramientas para la toma de muestras en zona del botadero.



Fotografía 03. Toma de muestras en zona del botadero.



Fotografía 04. Preparación de herramientas para la toma de muestras en zona contigua al botadero.



Fotografía 05. Toma de muestras en zona contigua al botadero.



Fotografía 06. Embolsando en Ziploc ambas muestras para el laboratorio.