

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Contaminación antropogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de
Cerro de Pasco**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Flor Jessica FELICIANO RAMOS

Asesor:

Mg. Josue Hermilio DIAZ LAZO

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Contaminación antropogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de
Cerro de Pasco**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA
PRESIDENTE

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS
MIEMBRO

Mg. Rosario Marcela VASQUEZ GARCIA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N°297-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

“Contaminación antropogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco”

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Flor Jessica FELICIANO RAMOS

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Josué Hermilio DIAZ LAZO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

3 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 2 de julio del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.07.2025 22:02:55 -05:00

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis:

A Dios, por su amor inmenso, por guiarme y sostenerme en cada paso de este camino académico.

A mis padres, Jorge y Dionicia, por su amor incondicional, por sus sabios consejos, su constante apoyo y su infinita paciencia.

A mis hermanos, por su cercanía, su cariño fraternal y su amistad sincera.

A mi esposo, Yhonatan, por ser mi inspiración, por motivarme a seguir adelante y por demostrarme cada día que siempre puedo contar con él.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos los docentes de esta prestigiosa alma máter, por brindarme una formación de alta calidad y por el valioso apoyo que me ofrecieron a lo largo de mi formación profesional.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar los efectos de la contaminación antropogénica sobre las propiedades del suelo en el botadero Rumillana y el depósito de relave Quiulacocha, situados en la ciudad de Cerro de Pasco. Se trató de un estudio de tipo aplicado, con un diseño no experimental, de nivel descriptivo-explicativo, enfoque cuantitativo y de corte transversal. La población de estudio estuvo constituida por dos zonas críticas de acumulación de residuos: el botadero Rumillana, vinculado a residuos sólidos urbanos, y la relavera Quiulacocha, asociada a residuos mineros y drenaje ácido. La investigación se basó en el análisis de datos secundarios provenientes de informes técnicos, estudios ambientales y publicaciones académicas sobre la calidad del suelo y los niveles de metales pesados en ambas zonas. Los resultados mostraron que ambos sitios presentan concentraciones elevadas de plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd), superando en algunos casos hasta 60 veces los límites permisibles establecidos por organismos internacionales como la OMS y la EPA. Se concluyó que la contaminación antropogénica en estas zonas representa un impacto ambiental severo y crónico, así como un riesgo significativo para la salud pública, principalmente por la toxicidad del plomo en niños y la exposición prolongada al arsénico, asociada a enfermedades cutáneas y cáncer.

Palabras clave: contaminación antropogénica, suelo, impacto ambiental, minería, metales pesados.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effects of anthropogenic contamination on soil properties in two critical sites in Cerro de Pasco: the Rumillana dump and the Quiulacocha tailings dam. This was an applied study with a non-experimental design, descriptive-explanatory level, quantitative approach, and cross-sectional scope. The study population included two critical waste accumulation zones: Rumillana, associated with urban solid waste, and Quiulacocha, related to mining waste and acid drainage. The research was based on the analysis of secondary data obtained from technical reports, environmental studies, and academic publications regarding soil quality and heavy metal concentrations in both areas. The results indicated that both sites exhibited high concentrations of lead (Pb), arsenic (As), and cadmium (Cd), in some cases exceeding the permissible limits established by international organizations such as the WHO and the EPA by up to 60 times. It was concluded that anthropogenic contamination in these areas has caused severe and chronic environmental impacts, as well as serious public health risks, especially due to the neurotoxicity of lead in children and the long-term exposure to arsenic, which is linked to skin diseases and cancer.

Key words: anthropogenic contamination, soil, environmental impact, mining, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

Cerro de Pasco, una de las ciudades mineras más altas del mundo, enfrenta una grave crisis ambiental producto de la interacción entre su compleja geología rica en sulfuros metálicos y más de un siglo de explotación minera intensiva. Los suelos de esta región presentan altísimas concentraciones de metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, que superan hasta en 15 veces los límites máximos permisibles establecidos por las normas peruanas e internacionales. Esta contaminación, originada tanto por procesos naturales de meteorización como por actividades antropogénicas, alcanza niveles críticos en zonas como el botadero de Rumillana y la relave Quiulacocha, identificadas como pasivos ambientales prioritarios por las autoridades.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de esta contaminación en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos en estas áreas críticas. Partiendo de la hipótesis de que las concentraciones de metales pesados exceden ampliamente los estándares permitidos, generando riesgos tanto ambientales como para la salud pública, La metodología se basó en el análisis de datos secundarios provenientes de estudios técnicos, reportes ambientales y fuentes académicas. Los resultados obtenidos fueron alarmantes, con valores de plomo que alcanzaron hasta 1,420 mg/kg en Rumillana y 2,300 mg/kg en el relave Quiulacocha, muy por encima de los límites establecidos. El estudio busca aportar a la comprensión de la problemática ambiental en Cerro de Pasco, fomentando una mayor conciencia sobre los efectos de la contaminación antropogénica en los suelos y promoviendo la formulación de medidas de mitigación efectivas.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos	3
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación	4
1.5.1. Justificación teórica	4
1.5.2. Justificación práctica	5
1.5.3. Justificación metodológica.....	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.1.1. Internacionales	7
2.1.2. Nacionales	8
2.1.3. Locales.....	9

2.2.	Bases teóricas - científicas	10
2.2.1.	Contaminación antropogénica en suelos	10
2.2.2.	Efectos en la Calidad del Suelo	11
2.2.3.	Metales Pesados en el suelo	11
2.2.4.	Impactos ambientales en la salud.....	12
2.2.5.	Marco legal y Normativas	12
2.2.6.	Técnicas de remediación.....	12
2.2.7.	Estudios científicos previos relevantes	12
2.3.	Definición de términos básicos	13
2.4.	Formulación de hipótesis	15
2.4.1.	Hipótesis general.....	15
2.4.2.	Hipótesis específicas	15
2.5.	Identificación de Variables	16
	Variable Dependiente:.....	16
	Variable Independiente:	16
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	16

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de Investigación	17
3.2.	Nivel de Investigación	17
3.3.	Método de Investigación	18
3.4.	Diseño de Investigación.....	18
3.5.	Población y muestra	19
3.6.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6.1.	Fichas de registro documental:.....	19
3.6.2.	Matrices de análisis comparativo:.....	20
3.6.3.	Plataformas de procesamiento de datos:.....	20
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de la investigación ...	20

3.7.1. Selección de instrumentos:.....	20
3.7.2. Validación:.....	20
3.8. Técnicas de procedimiento y análisis de datos	21
3.9. Tratamiento estadístico.....	21
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	22

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	23
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	24
4.2.1. Mapa de Ubicación de las Zonas de Estudio:	24
4.2.2. Reportes de monitoreo de suelo del relave Quiulacocha:	25
4.2.3. Reportes de monitoreo de suelo del botadero Rumiallana:.....	36
4.2.4. Análisis e Interpretación de resultados para botadero Rumiallana:.....	43
4.2.5. Impacto de Metales Pesados en Cerro de Pasco	44
4.2.6. Caso emblemático: Mortalidad infantil por intoxicación con plomo en Cerro de Pasco.....	46
4.3. Prueba de hipótesis	47
4.4. Discusión de resultados	47
4.4.1. Contaminación por Plomo (Pb):.....	48
4.4.2. Arsénico (As) y Cadmio (Cd):	48
4.4.3. Comparación con literatura científica:.....	48

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Operacionalización de variables</i>	16
Tabla 2: <i>Reportes de monitoreo de suelo de (Pb) (MINAM) - Quiulacocha</i>	26
Tabla 3: <i>Reportes de monitoreo de suelo (As) (MINAM) - Quiulacocha</i>	27
Tabla 4: <i>Reportes de monitoreo (Cd) (MINAM) - Quiulacocha</i>	28
Tabla 5: <i>Reportes de monitoreo (Pb) (OEFA) - Quiulacocha</i>	29
Tabla 6: <i>Reportes de monitoreo (As) (OEFA) - Quiulacocha</i>	30
Tabla 7: <i>Reportes de monitoreo (Cd) (OEFA) - Quiulacocha</i>	31
Tabla 8: <i>Reportes de monitoreo (Pb) (ANA) - Quiulacocha</i>	32
Tabla 9: <i>Reportes de monitoreo (As) (ANA) - Quiulacocha</i>	33
Tabla 10: <i>Reportes de monitoreo (As) (ANA) - Quiulacocha</i>	34
Tabla 11: <i>Análisis comparativo de metales pesados en relave Quiulacocha</i>	35
Tabla 12: <i>Reportes de monitoreo (Pb) (OEFA) - Rumiallana</i>	37
Tabla 13: <i>Reportes de monitoreo (As) (OEFA) - Rumiallana</i>	38
Tabla 14: <i>Reportes de monitoreo (Cd) (OEFA) - Rumiallana</i>	39
Tabla 15: <i>Reporte comparativo de metales pesados - Rumiallana</i>	40
Tabla 16: <i>Reporte comparativo de fuentes nacionales - Rumiallana</i>	41
Tabla 17: <i>Reporte comparativo - Rumiallana</i>	43
Tabla 18: <i>Impacto de Metales en Salud (OMS y Estudios Locales)</i>	45
Tabla 19: <i>Factores y aspectos contaminantes</i>	45
Tabla 20: <i>Nivel de PH en suelo</i>	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Puntos críticos en C.D.P</i>	19
Figura 2: <i>Botadero Rumiallana</i>	24
Figura 3: <i>Relave Quiulacocha</i>	25
Figura 4: <i>Gráfico de barras parámetro plomo (MINAM) - Quiulacocha</i>	26
Figura 5: <i>Gráfico de barras parámetro arsénico (MINAM) - Quiulacocha</i>	27
Figura 6: <i>Gráfico de barras parámetro cadmio (MINAM) - Quiulacocha</i>	28
Figura 7: <i>Gráfico de barra parámetro plomo (OEFA) - Quiulacocha</i>	29
Figura 8: <i>Gráfico de barras parámetro arsénico (OEFA) - Quiulacocha</i>	30
Figura 9: <i>Gráfico de barras parámetro cadmio (OEFA) - Quiulacocha</i>	31
Figura 10: <i>Gráfico de barras parámetro plomo (ANA) - Quiulacocha</i>	32
Figura 11: <i>Gráfico de barra parámetro arsénico (ANA) - Quiulacocha</i>	33
Figura 12: <i>Gráfico de barras parámetro cadmio (ANA)- Quiulacocha</i>	34
Figura 13: <i>Gráfico de barra parámetro plomo (OEFA) – botadero Rumiallana</i>	37
Figura 14: <i>Gráfico de barras parámetro arsénico (OEFA) - Rumiallana</i>	38
Figura 15: <i>Gráfico de barra parámetro cadmio (OEFA) - Rumiallana</i>	39
Figura 16: <i>Gráfico de barra % excedencia - Rumiallana</i>	40
Figura 17: <i>Gráfico Promedio % excedencia de metales pesados</i>	42

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La ciudad de Cerro de Pasco enfrenta una grave problemática ambiental debido a la presencia de dos focos críticos de contaminación minera: El Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana. Estos pasivos ambientales representan un riesgo significativo para los ecosistemas y la salud pública de la región, con niveles de contaminación que superan ampliamente los estándares nacionales e internacionales. El Relave Quiulacocha, considerado uno de los mayores vertederos de desechos en la región, contiene Elevados niveles de metales pesados, entre ellos plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd). Estudios recientes del OEFA (2023) reportan valores de plomo de hasta 2300 mg/kg en sedimentos, superando los límites permisibles (ECA-Perú, DS N° 011-2017-MINAM). Además, la generación de drenajes ácidos ($\text{pH} < 3.5$) ha contaminado cuerpos de agua superficiales y subterráneos, Alterando las condiciones del agua de uso doméstico, humano y agrícola. Por otro lado, el Botadero Rumillana presenta una problemática particular debido a la combinación de residuos mineros y desechos urbanos. Esta mezcla ha generado lixiviados con altas concentraciones de metales pesados que contaminan el suelo y las aguas del río San Juan, principal afluente de la zona. Datos de la ANA (2023) indican

niveles de arsénico en aguas superficiales que exceden hasta 10 veces el límite máximo permisible, representando un riesgo para las comunidades aledañas. Estudios de DIRESA Pasco (2022) han vinculado esta contaminación con casos de intoxicación crónica en la población, especialmente en niños, quienes presentan niveles elevados de plomo en sangre ($>10 \mu\text{g/dL}$). Algunas de las preguntas claves que podrían abordarse incluyen:

- **Niveles de contaminantes:** ¿Cuáles son los niveles actuales de concentración de metales pesados (Pb, As, Cd) en los suelos afectados por el Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana, y en qué medida superan los estándares de calidad ambiental para suelos?
- **Fuentes de contaminación:** ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación antropogénica que contribuyen a la degradación de los suelos en el Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana, y cómo interactúan estas fuentes con los procesos naturales de contaminación?
- **Impacto en la salud humana:** ¿Qué relación existe entre los niveles de metales pesados en los suelos contaminados del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana, y los indicadores de salud en la población expuesta?
- **Mitigación y remediación:** ¿Qué estrategias se pueden implementar para mitigar la contaminación existente y prevenir la futura?

Este problema de investigación busca comprender y abordar los desafíos de la contaminación antropogénica en Cerro de Pasco, con el fin de proteger el bienestar de la comunidad, preservar el entorno natural y mitigar pasivos ambientales de la región.

1.2. Delimitación de la investigación

Esta investigación establece una delimitación geográfica precisa del área correspondiente al depósito de Relave Quiulacocha y al Botadero Rumillana, ubicados en la ciudad de cerro de Pasco, reconocidos como pasivos

ambientales críticos según la Resolución Ministerial N.º 102-2015-MEM/DM. Temporalmente, el desarrollo del estudio se basa en el análisis de conjunto de datos secundarios comprendidos entre los años 2020 - 2024. Conceptualmente, se enfoca en evaluar la contaminación de suelos por metales pesados como plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd), contrastando los resultados con los estándares ambientales vigentes.

Se excluyen expresamente los análisis de calidad de aguas subterráneas, otros pasivos mineros de la zona, y evaluaciones directas de impacto en salud humana. No obstante, se incluye una valoración del riesgo potencial para la salud humana basada en los niveles de contaminación edáfica detectados.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la contaminación antropogénica en los suelos del Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana en la ciudad de Cerro de Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los niveles de concentración de (Pb, As, Cd) en los suelos afectados y en qué medida exceden los estándares de calidad ambiental?
- b) ¿Cómo la contaminación antropogénica en suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana afecta la salud de la población expuesta en Cerro de Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar los efectos de la contaminación antropogénica en los suelos del Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana en la ciudad de Cerro de Pasco

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Analizar los niveles de concentración de plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd) en los suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana, comparándolos con los estándares de calidad ambiental.
- b) Determinar los efectos en la salud de la población de cerro de pasco por contaminación antropogénica en suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana.

1.5. Justificación de la investigación

La ciudad de Cerro de Pasco, históricamente vinculada a la actividad minera, enfrenta una crítica problemática ambiental producto de la contaminación antropogénica de sus suelos. Esta situación es especialmente alarmante en zonas específicas como el Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana, donde la acumulación de residuos sólidos y mineros han generado un entorno altamente degradado, con presencia de metales pesados, específicamente plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd), altamente tóxicos para la salud humana y los ecosistemas.

1.5.1. Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, esta investigación se sustenta en la necesidad de profundizar en el conocimiento sobre la contaminación del suelo ocasionada por pasivos ambientales mineros. El estudio permitirá ampliar el marco conceptual y científico respecto a la movilidad, persistencia y bioacumulación de metales pesados en suelos impactados por actividades extractivas. Asimismo, permitirá fortalecer la base de datos regional con información ambiental precisa, que es escasa y desactualizada, en especial sobre las condiciones específicas del relave Quiulacocha y el botadero Rumillana.

1.5.2. Justificación práctica

En el ámbito práctico, los resultados permitirán identificar las zonas de mayor riesgo para la salud pública, especialmente para poblaciones vulnerables como los niños. Estudios previos, como el informe toxicológico del MINSA (2017), revelan que menores de edad en Cerro de Pasco presentan niveles elevados de metales pesados, lo cual guarda una relación directa con su exposición al entorno contaminado. La información obtenida podrá ser utilizada por las autoridades locales y regionales para formular planes de remediación, promover la vigilancia ambiental y establecer programas de intervención sanitaria.

1.5.3. Justificación metodológica

Metodológicamente, este estudio se justifica al enfocarse en la cuantificación y comparación de los niveles de concentración de Pb, As y Cd en dos zonas críticas, empleando parámetros establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos. El uso de datos secundarios verificados y actualizados permitirá una evaluación rigurosa de la magnitud del impacto ambiental, facilitando un enfoque comparativo entre el Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana. Esta metodología contribuirá a generar evidencia confiable y reproducible que sirva de base para investigaciones futuras en el ámbito de la gestión ambiental.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la presente investigación son las siguientes:

- **Acceso restringido:** El botadero Rumiallana y el relave Quiulacocha se encuentran en áreas bajo gestión de empresas mineras o en zonas de seguridad restringida, lo que imposibilita la recolección de muestras in situ.
- **Limitaciones en recursos económicos:** Los análisis de metales pesados (pb, as, cd) en laboratorios acreditados (SGS, Laboratorio ambiental

MINAM, etc.) requieren un presupuesto significativo (aproximadamente 150-300 USD/muestra) el cual excedía los recursos disponibles para este estudio.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Internacionales

**American Association for the Advancement of Science. (2025).
Global assessment of toxic metal contamination in cropland. *Science*.**

La American Association for the Advancement of Science (AAAS) publicó en 2025 un estudio en *Science* que mapeó globalmente la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas, estimando que entre el 14 % y el 17 % de las tierras cultivables (≈242 millones de hectáreas) están afectadas por elementos como arsénico, cadmio, plomo, cobalto, cromo, cobre y níquel. El objetivo principal fue cuantificar la extensión del problema y evaluar los riesgos para la salud humana, los ecosistemas y la seguridad alimentaria. Para ello, se recolectaron más de 800 000 muestras de suelo tomadas en las principales regiones agrícolas del planeta. Estas muestras se procesaron mediante análisis geoestadístico y modelos de aprendizaje automático, permitiendo identificar áreas críticas comparadas con estándares internacionales de calidad.

La investigación estimó que entre 900 y 1 400 millones de personas podrían estar expuestas a niveles peligrosos de metales pesados. Esta

investigación ofrece un marco de referencia global que orienta al estudio de contaminantes en pasivos ambientales críticos como los de Cerro de Pasco.

Al-Taani et al. en Emiratos Árabes (2021) En 2021, Al-Taani y colaboradores evaluaron la contaminación por metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) en suelos agrícolas de la región de Liwa, Emiratos Árabes Unidos. El estudio tenía como objetivo cuantificar los niveles de metales y determinar sus fuentes, especialmente vinculadas a prácticas agrarias. Se seleccionaron 50 puntos de muestreo siguiendo un diseño estratificado que incluyó parcelas bajo distintos usos agrícolas. Las muestras fueron analizadas mediante espectrometría de absorción atómica y se calcularon índices de contaminación (Igeo, PLI) y riesgo ecológico, contrastando resultados con límites normativos internacionales. La investigación encontró concentraciones superiores en algunos metales debido al uso de compost y fertilizantes, lo que motivó recomendaciones para remediación y vigilancia ambiental continua.

2.1.2. Nacionales

Toro y Malpartida en Cajamarca (2022). Toro y Malpartida (2022) analizaron la presencia de cadmio, plomo, cromo, cobre y zinc en suelos agrícolas del caserío La Bendiza, distrito de Jesús, provincia de Cajamarca. El objetivo fue evaluar los niveles de estos metales y su relación con las propiedades edáficas. Para ello, recolectaron muestras compuestas superficiales (0–20 cm) en parcelas representativas y midieron parámetros edáficos: textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Los niveles de metales se cuantificaron mediante espectrometría de emisión óptica acoplada a plasma (ICP-OES). Se fueron calculados índices de geoacumulación (Igeo) e índice de riesgo ecológico, contrastándose con los estándares nacionales. Se detectó contaminación moderada a elevada por Cd y Pb, y se recomendó implementar programas de

monitoreo y manejo de suelos agrícolas con aplicación controlada de fertilizantes.

Delgado Jiménez en zonas cafeteras (2022). Delgado Jiménez investigó la concentración de cadmio, plomo y zinc en zonas agrícolas de regadío dedicadas al cultivo de cacao, café, plátano, banano y palma africana. El objetivo fue determinar niveles de metales en suelos y cultivos de exportación para evaluar riesgos económicos y sanitarios. Se seleccionaron parcelas en las principales regiones productoras y se reunieron muestras de suelo y plantas. El análisis se realizó mediante ICP-OES e ICP-MS. Se calcularon concentraciones promedio y compararon con límites establecidos por la FAO/OMS. Los resultados mostraron niveles críticos de Cd y Pb en suelos de cacao y café, con posibles implicaciones negativas en la cadena agroalimentaria. La investigación puso énfasis en la necesidad de desarrollar prácticas de manejo sostenible y regulaciones específicas para zonas de exportación.

2.1.3. Locales

Aplicación de biocarbón-compost en fitorremediación en Cerro de Pasco (2021). Vega Guevara y Virú Vásquez (2021) desarrollaron una investigación aplicada en Cerro de Pasco con el objetivo de evaluar la eficacia del biocarbón-compost como enmienda para la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros. Emplearon un diseño experimental factorial con suelo contaminado (30 % y 60 % relave), dos niveles de temperatura de pirólisis del biocarbón (300°C y 500°C), y dos dosis de aplicación (0.08 y 0.16 kg por kg de suelo). Se sembró maíz (*Zea mays*) y se analizó la concentración de arsénico y plomo en suelo y tejidos vegetales, aplicando ANOVA para determinar efectos principales e interacciones. Se halló que la dosis fue el factor más significativo para reducir metales, mientras la temperatura de pirólisis tuvo menor impacto. El estudio concluyó que esta estrategia aumentó la retención metalómica en el suelo y redujo la movilidad del As y Pb, ofreciendo una

alternativa económica y efectiva para remediar los pasivos ambientales de la zona (Vega Guevara & Virú Vásquez, 2021).

Estudio de línea base en suelos de Cerro de Pasco (2022). En 2022, un estudio local llevó a cabo la determinación de niveles de referencia de metales pesados en suelos de la periferia de Cerro de Pasco. El objetivo fue establecer los valores de fondo para elementos como aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc, y así poder evaluar la contaminación antropogénica. Se aplicó muestreo aleatorio simple en un área de 3 201 ha, recolectando 63 muestras superficiales (0–30 cm), que fueron homogenizadas en 21 muestras compuestas. Los análisis se hicieron mediante ICP-MS, y se relacionaron con parámetros del suelo como pH, CEC y materia orgánica. Mediante análisis de distribución normal y regresión, se definieron los niveles de referencia; se encontró que el plomo (62 mg/kg) superó las concentraciones naturales esperadas, lo que evidenció un riesgo potencial. Se recomendó utilizar estos valores como base para futuras evaluaciones de contaminación y gestión ambiental (Estudio de línea base, 2022).

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Contaminación antropogénica en suelos

La contaminación del suelo se define como la alteración de su calidad natural debido a la acumulación de sustancias químicas, metales pesados, residuos sólidos u otros agentes tóxicos que afectan su equilibrio ecológico. FAO (2015). En el contexto de Cerro de Pasco, esta contaminación se manifiesta principalmente a través de:

- Relaves mineros: Depósitos de residuos con altas concentraciones de metales pesados (Pb, As, Cd) generados durante el procesamiento de minerales. OEFA (2022).

- Botaderos de desmonte: Acumulación de materiales estériles que, al oxidarse, generan drenajes ácidos y liberan metales tóxicos. MINAM (2021). Estudios demuestran que estos pasivos ambientales alteran irreversiblemente las propiedades del suelo cuando no son manejados adecuadamente. Espinoza (2020).

2.2.2. Efectos en la Calidad del Suelo

La calidad del suelo se ve comprometida por la contaminación minera a través de tres dimensiones. Doran & Parkin (1994).

a) Degradación química:

- Acidificación ($\text{pH} < 4.5$) por oxidación de sulfuros. Nordstrom (2011).
- Acumulación de metales pesados que superan los ECA - Perú (2017).

b) Alteración física:

- Pérdida de estructura por erosión eólica/hídrica. Kabata-Pendias, (2011).
- Compactación debido a maquinaria pesada. Gutiérrez (2021).

c) Impacto biológico:

- Reducción de actividad microbiana. Giller (1998).
- Disminución de biodiversidad edáfica. DIRESA (2022).

2.2.3. Metales Pesados en el suelo

Los principales metales pesados asociados a la contaminación en Cerro de Pasco incluyen:

- Plomo (Pb): Neurotóxico, afecta el desarrollo cognitivo en niños. WHO (2018).
- Arsénico (As): Cancerígeno, se acumula en cultivos y aguas subterráneas. Mandal & Suzuki (2002).
- Cadmio (Cd): Tóxico para riñones y huesos. Järup (2003).

2.2.4. Impactos ambientales en la salud

- a) Degradación del suelo: Pérdida de fertilidad y biodiversidad. Brady & Weil (2016).
- b) Bioacumulación: Los metales ingresan a la cadena trófica, afectando cultivos, ganado y población humana. Nagajyoti (2010).
- c) Enfermedades crónicas: Intoxicación por metales causa anemia, daño renal y cáncer. ATSDR (2019).

2.2.5. Marco legal y Normativas

- a) Ley General del Ambiente (Ley N° 28611, Perú): Establece límites máximos permisibles de metales en suelos.
- b) Estándares de la EPA y OMS: Guías para evaluar riesgos a la salud EPA (2020), WHO (2017).

2.2.6. Técnicas de remediación

- a) Fitorremediación: Uso de plantas para absorber metales. Ali (2013). Festuca arundinacea reduce 45% de Pb en 12 meses. Vargas (2018).
- b) Barreras reactivas: Uso de zeolitas para capturar metales en lixiviados UNDAC (2020).
- c) Encapsulamiento de relaves: Evita dispersión de contaminantes. Khalid (2017).

2.2.7. Estudios científicos previos relevantes

- a) OEFA (2021): Reportó 31 puntos con suelos contaminados por plomo y arsénico, con hasta 4000 mg/kg de Pb.
- b) Source International (2019): Confirmó presencia de metales pesados en suelos y sangre infantil en zonas cercanas a relaves.
- c) UNDAC (2014): Realizó un mapeo ambiental de zonas con riesgos sanitarios por contaminación de suelo.

2.3. Definición de términos básicos

Aguas acidas:

Aguas contaminadas con ácidos generados por la oxidación de sulfuros minerales, especialmente en zonas mineras, conocidas como drenaje ácido de mina. OEFA (2018).

Biorremediación:

Técnica que utiliza microorganismos, hongos o plantas para degradar o transformar contaminantes del suelo en compuestos menos tóxicos, siendo una alternativa ecológica y de bajo costo frente a la contaminación antropogénica. Atlas & Philp (2005).

Botadero:

Es un sitio destinado a la acumulación de residuos sólidos de manera desorganizada, sin medidas de control o manejo adecuado. En estos lugares, los desechos no son compactados ni cubiertos regularmente, lo que genera malos olores, emisiones de gases y filtraciones de líquidos contaminantes. MINSA (2022).

Calidad del suelo:

Capacidad del suelo para cumplir funciones ecológicas, agrícolas y ambientales, como sostener la vida vegetal, filtrar contaminantes y mantener el equilibrio biológico. Doran & Parkin (1994).

Contaminación antropogénica:

Es la alteración del medio ambiente causada directa o indirectamente por actividades humanas, como la industria, minería, agricultura o urbanización. OMS (2021).

Degradación de suelo:

Pérdida progresiva de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual reduce su capacidad para sustentar vida. Puede ser causada por

erosión, compactación, salinización o contaminación por actividades humanas. FAO (2015).

Drenaje ácido de mina (DAM):

Proceso mediante el cual el agua, al entrar en contacto con minerales sulfurosos expuestos por la minería, se vuelve ácida y transporta metales tóxicos al medio ambiente. OEFA (2019).

ECA Suelo:

Estándar de Calidad Ambiental para Suelo: límite máximo permitido de contaminantes en el suelo para proteger la salud humana y el medio ambiente. MINAM (D.S N.º 011-2017).

Lixiviación:

Es el proceso de extraer una sustancia de un material sólido, después de haber estado en contacto con un líquido. La sustancia que se extrae del sólido lo hace al llegar a la solución, una en la que es soluble. Emew Corporation. (2021).

Metales pesados:

Elementos metálicos con alta densidad que pueden ser tóxicos incluso en bajas concentraciones, como el plomo (Pb), arsénico (As), mercurio (Hg) y cadmio (Cd). ATSDR (2022).

Mitigación ambiental:

Conjunto de medidas destinadas a reducir o eliminar los impactos negativos que una actividad causa sobre el ambiente. Sánchez (2021).

Relaves mineros:

Materiales de desecho que resultan de la extracción y procesamiento de minerales. Suelen contener metales pesados y otros elementos tóxicos. MINAM (2019).

Residuos sólidos:

Son aquellos materiales sólidos generados por actividades humanas que son descartados como inútiles, incluyendo basura doméstica, industrial y municipal. MINAM (2020).

Suelo:

Cuerpo natural compuesto por minerales, materia orgánica, agua y aire, que sirve de soporte para las plantas y diversas formas de vida. FAO (2020).

Zona de influencia ambiental:

Área geográfica que puede verse afectada directa o indirectamente por una fuente de contaminación, como una mina, botadero o relavera. En esta zona, los suelos, cuerpos de agua, aire y seres vivos pueden experimentar impactos negativos acumulativos. MINAM (2017).

2.4. Formulación de hipótesis**2.4.1. Hipótesis general**

La contaminación antropogénica en los suelos (por metales pesados Pb, As, Cd en Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana) afecta negativamente la calidad del suelo y genera riesgos para la salud de la población de Cerro de Pasco, superando los estándares de calidad ambiental permitidos.

2.4.2. Hipótesis específicas

1. Los niveles de concentración de plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd) en los suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana superan los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA) peruanos y/o internacionales.
2. Existe una correlación positiva entre la proximidad de la población a los focos de contaminación (Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana) y la prevalencia de enfermedades asociadas a metales pesados.

2.5. Identificación de Variables

Variable Dependiente: Calidad del suelo (afectada por metales pesados)

Variable Independiente: Contaminación Antropogénica

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
Variable independiente: Contaminación antropogénica	Concentración de metales tóxicos (Pb, As, Cd) reportados en estudios previos en los suelos.	- Tipo de contaminantes - Fuente de contaminación - Nivel de concentración	- [Pb], [As], [Cd] en suelo. - Ubicación (coordenadas) - Año de muestreo	Revisión documental - Análisis comparativo - Sistematización de datos	- Informes técnicos (OEFA, MINAM) - Bases de datos ambientales - Artículos científicos
Variable Dependiente: Calidad del suelo	Grado de afectación del suelo según parámetros normativos y científicos reportados en literatura.	1. Cumplimiento normativo 2. Parámetros físicoquímicos 3. Riesgo ecológico	- Excedencia de ECA - Niveles de pH y materia orgánica reportados - Índices de riesgo	Análisis comparativo con ECA - Estadística descriptiva	- Estándares ECA (DS 011-2017-MINAM) - Fichas de recolección de datos - Software estadístico.

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

Esta investigación emplea una metodología cuantitativa que, como señala Muñoz (2021), se fundamenta en tres principios esenciales: (1) la delimitación precisa de los datos mediante la medición de variables específicas, (2) el uso sistemático de técnicas numéricas para cuantificar fenómenos, y (3) el análisis de patrones y relaciones a través de valores estadísticos. Este enfoque permite transformar la información empírica en datos estructurados, facilitando su procesamiento objetivo mediante herramientas matemáticas y estadísticas para garantizar resultados confiables y replicables.

3.2. Nivel de Investigación

Este estudio adopta un enfoque aplicado con nivel descriptivo, orientado a analizar los efectos de la contaminación antropogénica por metales pesados (Pb, As, Cd) en los suelos del Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana, y su impacto en la población de Cerro de Pasco. Como señala Chávez (2007), la investigación aplicada busca generar soluciones prácticas a problemas concretos mediante la implementación de acciones basadas en evidencia

científica, combinando el análisis teórico con su aplicación inmediata en contextos reales.

3.3. Método de Investigación

La investigación se realizó de la siguiente manera:

1. Reconocimiento de los puntos críticos con mayor contaminación antropogénica en el suelo de cerro de pasco (relavera Quiulacocha y botadero Rumiallana).
2. Identificación de los aspectos e impactos ambientales generados por la contaminación antropogénica.
3. Análisis sistemático de documentos técnicos emitidos (OEFA, MINAM y MINE), complementado con el tratamiento de información secundaria referente a los niveles de concentración de metales pesados (plomo, arsénico y cadmio), en contraste con los Estándares de Calidad Ambiental actualmente establecidos.
4. Propuesta de medidas orientadas a disminuir o controlar los efectos ambientales causados por la contaminación de origen humano en los suelos de Cerro de Pasco.

En este sentido, la investigación se ha diseñado mediante un enfoque cuantitativo con método descriptivo-analítico.

3.4. Diseño de Investigación

Este estudio emplea un enfoque cuantitativo, descriptivo-analítico y no experimental, basado en la revisión sistemática de datos secundarios (informes de OEFA, MINAM, MINEM) sobre concentraciones de Pb, As y Cd en suelos (Relavera Quiulacocha y Rumillana) de Cerro de Pasco. Los datos se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) mediante análisis estadístico descriptivo. El diseño permite caracterizar el impacto ambiental y su

relación con riesgos a la salud pública, sin manipulación de variables. Hernández (2014).

3.5. Población y muestra

Población: Suelos contaminados con Pb, As y Cd en zonas afectadas (Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana), en Cerro de Pasco.

Muestra: Muestras de suelo de ambos sitios, seleccionadas mediante muestreo no probabilístico en áreas críticas.

Figura 1: *Puntos críticos en C.D.P*



Fuente: elaboración propia

3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección y procesamiento de datos, se emplearán los siguientes instrumentos metodológicos:

3.6.1. Fichas de registro documental:

Diseñadas para sistematizar la información obtenida de fuentes técnicas especializadas, incluyendo informes institucionales (OEFA, MINAM, ANA), y bases de datos ambientales oficiales.

3.6.2. Matrices de análisis comparativo:

Estructuradas para evaluar de manera sistemática:

- Tipología de contaminantes (Pb, As, Cd)
- Fuentes emisoras identificadas
- Impactos ambientales cuantificados en el área de estudio

3.6.3. Plataformas de procesamiento de datos:

- Software estadístico especializado (SPSS, R) para análisis cuantitativo
- Hojas de cálculo (Excel) para organización y tratamiento preliminar de datos
- Sistemas de Información Geográfica (QGIS) para representación espacial

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de la investigación

3.7.1. Selección de instrumentos:

Los instrumentos empleados fueron seleccionados por su capacidad para medir las variables de estudio (concentraciones de Pb, As, Cd y parámetros de calidad del suelo) y su alineamiento con los objetivos de la investigación. Se utilizaron:

- Fichas de registro documental estandarizadas, adaptadas de protocolos del OEFA y MINAM, para recopilar datos de informes técnicos.
- Matrices comparativas, diseñadas para contrastar niveles de contaminación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA Perú).
- Software especializado (Excel, QGIS y R) para procesamiento estadístico y espacial de datos.

3.7.2. Validación:

Las fichas y matrices fueron revisadas por el asesor, experto en suelos, quien verificó que todos los campos esenciales (metales pesados, pH, ubicación) estuvieran incluidos.

3.1.1. Confiabilidad: Todos los datos incluyen su fuente original.

3.8. Técnicas de procedimiento y análisis de datos

El estudio se basó en información de informes técnicos de instituciones como el OEFA y MINAM, de donde se extrajeron datos sobre metales pesados (plomo, arsénico y cadmio) y características del suelo. Estos datos se organizaron en tablas comparativas para verificar si superaban los límites permitidos por la normativa ambiental peruana. Se utilizaron programas especializados para crear mapas que muestran las zonas más contaminadas, y herramientas como Excel para analizar patrones y tendencias. Complementariamente, se aplicaron técnicas de interpretación cualitativa que facilitaron la identificación de vínculos entre las acciones antropogénicas y los impactos ambientales detectados en las localidades evaluadas.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el análisis de los resultados, los datos recolectados fueron organizados, procesados y representados gráficamente mediante el software Microsoft Excel. Esta herramienta permitió generar diversos tipos de visualizaciones, incluyendo:

- **Gráficos de barras:** Para comparar las concentraciones de metales pesados (Pb, As, Cd) entre los diferentes puntos de muestreo.
- **Gráficos circulares:** Para mostrar la distribución porcentual de los parámetros analizados.
- **Tablas comparativas:** Que facilitaron la contrastación de los resultados con los estándares de calidad ambiental (ECA).

Este tratamiento estadístico permitió una interpretación clara y sistemática de los datos, apoyando el análisis cuantitativo de la investigación.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Esta investigación se desarrolló respetando los principios éticos de responsabilidad, honestidad académica y uso adecuado de la información. Se evitó cualquier forma de plagio, citando correctamente las fuentes utilizadas en la revisión documental. Asimismo, los datos secundarios fueron manejados de forma responsable, respetando la integridad de los autores originales y el contexto en el que fueron obtenidos. No se ha vulnerado la privacidad ni los derechos de personas o instituciones, ya que el estudio no involucró contacto directo con individuos ni la recolección de datos personales.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en diferentes zonas críticas de la ciudad de Cerro de Pasco, identificadas como puntos de afectación directa del suelo por contaminación antropogénica. Las visitas se enfocaron en dos sectores específicos, el Botadero de Rumiallana (zona de acumulación de residuos sólidos urbanos) y la Relavera Quiulacocha (área con presencia de aguas ácidas generadas por relaves mineros).

Durante las visitas, se aplicó la técnica de observación directa para identificar el estado del suelo, la acumulación de contaminantes visibles y las fuentes de contaminación relacionadas con actividades humanas. No se realizó recolección de muestras físicas ni análisis en laboratorio, dado que el estudio se sustentó en observaciones de campo y datos secundarios provenientes de informes técnicos y documentos oficiales.

El trabajo de campo fue complementado con la técnica de revisión documental, mediante la cual se consultaron estudios previos, reportes ambientales y publicaciones científicas emitidas por entidades como el Ministerio del Ambiente, OEFA, MINAM, entre otros. Todo el proceso se

desarrolló respetando los principios éticos de la investigación, manteniendo una actitud responsable hacia el entorno y las comunidades cercanas.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Mapa de Ubicación de las Zonas de Estudio:

Ubicación geográfica con puntos de muestreo en Relavera Quiulacocha (4350 msnm) y Botadero Rumiallana (4300 msnm).

Figura 2: *Botadero Rumiallana*



Fuente: Google Eart

Figura 3: Relave Quiulacocha



Fuente Google Eart

4.2.2. Reportes de monitoreo de suelo del relave Quiulacocha:

En esta sección se presentan los resultados de monitoreos realizados por entes (OEFA, MINAM, ANA ETC.), en los niveles de metales pesados como plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd). Los datos han sido organizados en tablas que muestran las concentraciones obtenidas en mg/kg comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo establecidos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM para Suelo de uso Comercial Industrial / Extractivo.

Límite máximo permitido (ECA):

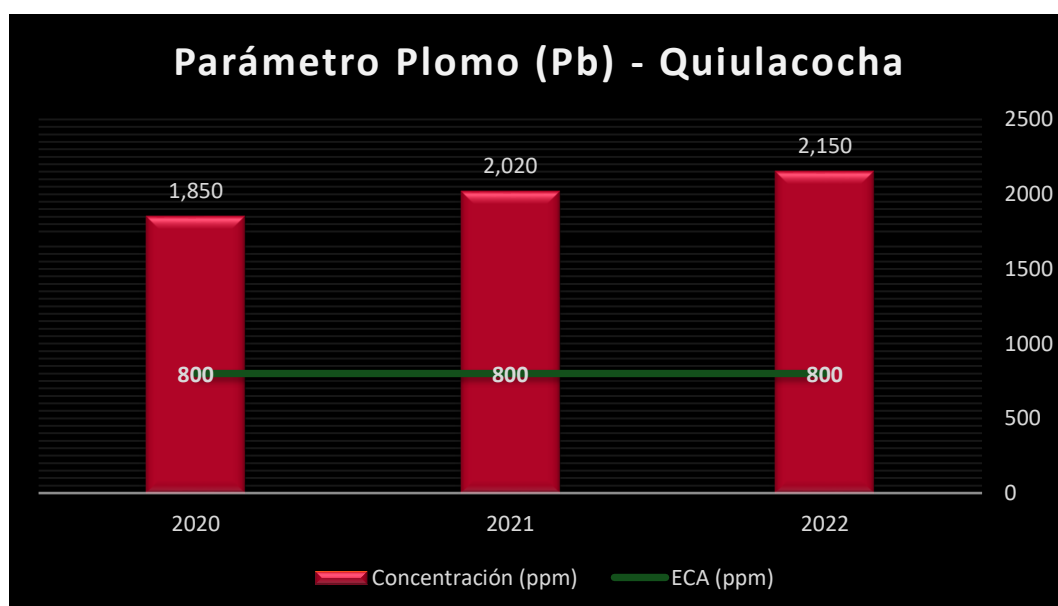
- Cadmio (Cd): 22 mg/kg (Suelo de uso Comercial Industrial / Extractivo).
- Plomo (Pb): 800 mg/kg
- Arsénico (As): 140 mg/kg

Reportes de monitoreo de suelo según MINAM para Plomo (Pb):

Tabla 2: Reportes de monitoreo de suelo de (Pb) (MINAM) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Fuente MINAM
Plomo (Pb)	2020	1,850	800	131.25%	Estudio PNUD- MINAM
	2021	2,020	800	152.50%	Reporte SINIA
	2022	2,150	800	168.75%	Informe MINAM
	2023				

Figura 4: Gráfico de barras parámetro plomo (MINAM) - Quiulacocha



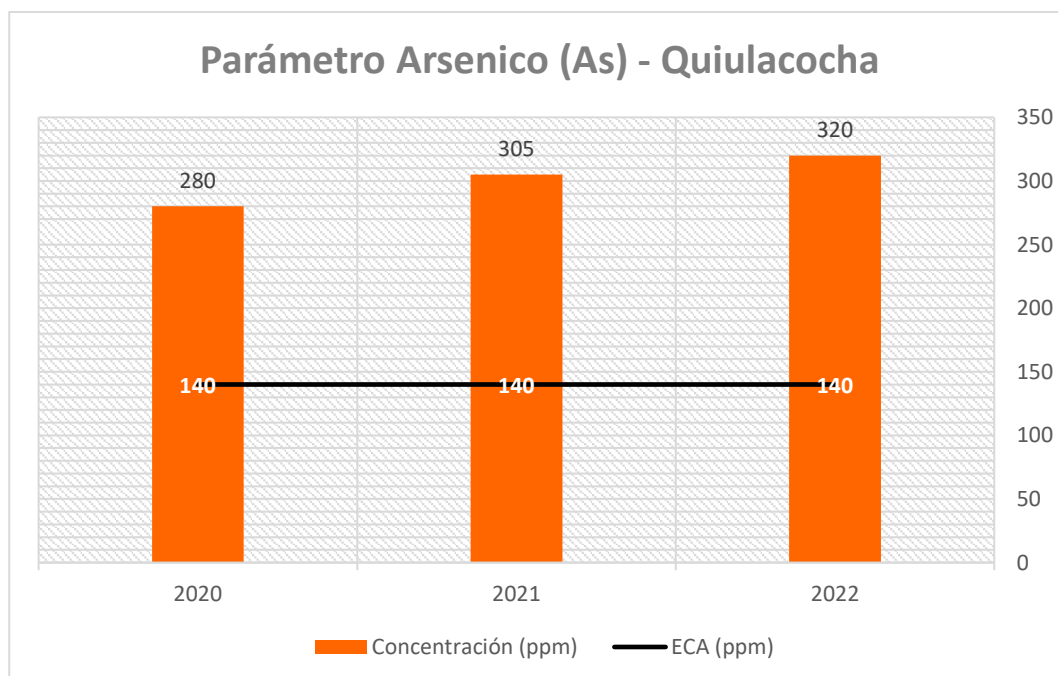
Fuente: Elaboración propia

Reportes de monitoreo de suelo según MINAM para Arsénico (As):

Tabla 3: Reportes de monitoreo de suelo (As) (MINAM) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Fuente MINAM
Arsénico (As)	2020	280	140	100.00%	PNUD- MINAM
	2021				2021
	2021	305	140	117.86%	SINIA
	2022				2022
	2022	320	140	128.57%	MINAM 2023

Figura 5: Gráfico de barras parámetro arsénico (MINAM) - Quiulacocha



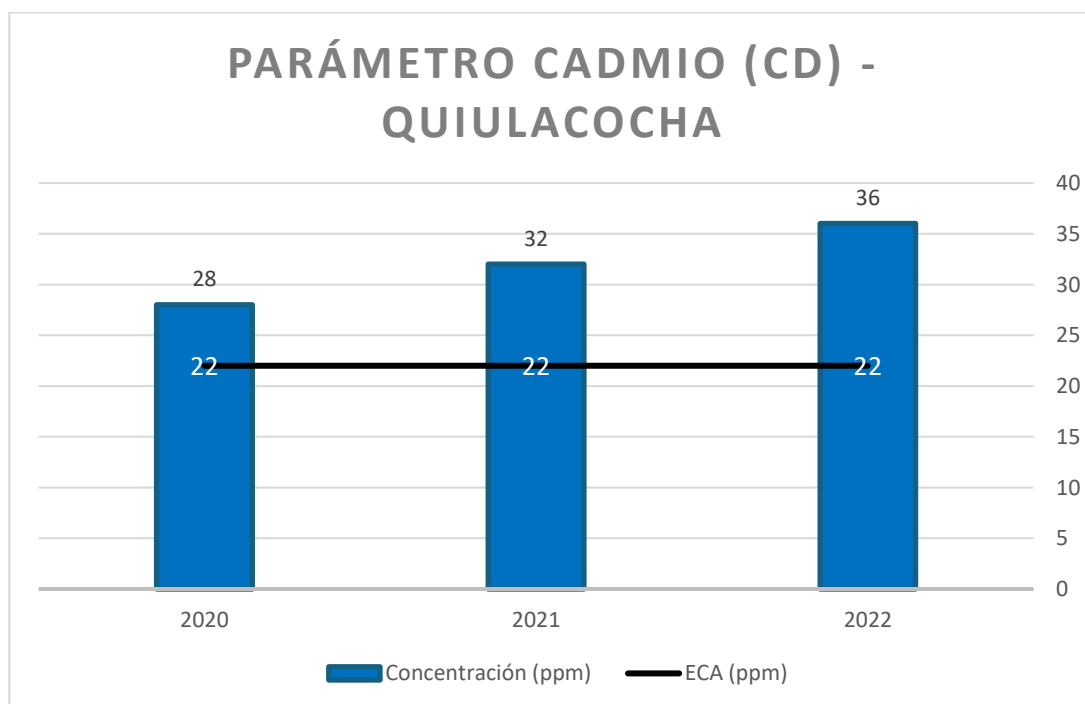
Fuente: elaboración propia

Reportes de monitoreo de suelo según MINAM para Cadmio (Cd):

Tabla 4: Reportes de monitoreo (Cd) (MINAM) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Fuente MINAM
Cadmio (Cd)	2020	28	22	27.27%	PNUD- MINAM 2021
	2021	32	22	45.45%	SINIA 2022
	2022	36	22	63.64%	MINAM 2023

Figura 6: Gráfico de barras parámetro cadmio (MINAM) - Quiulacocha



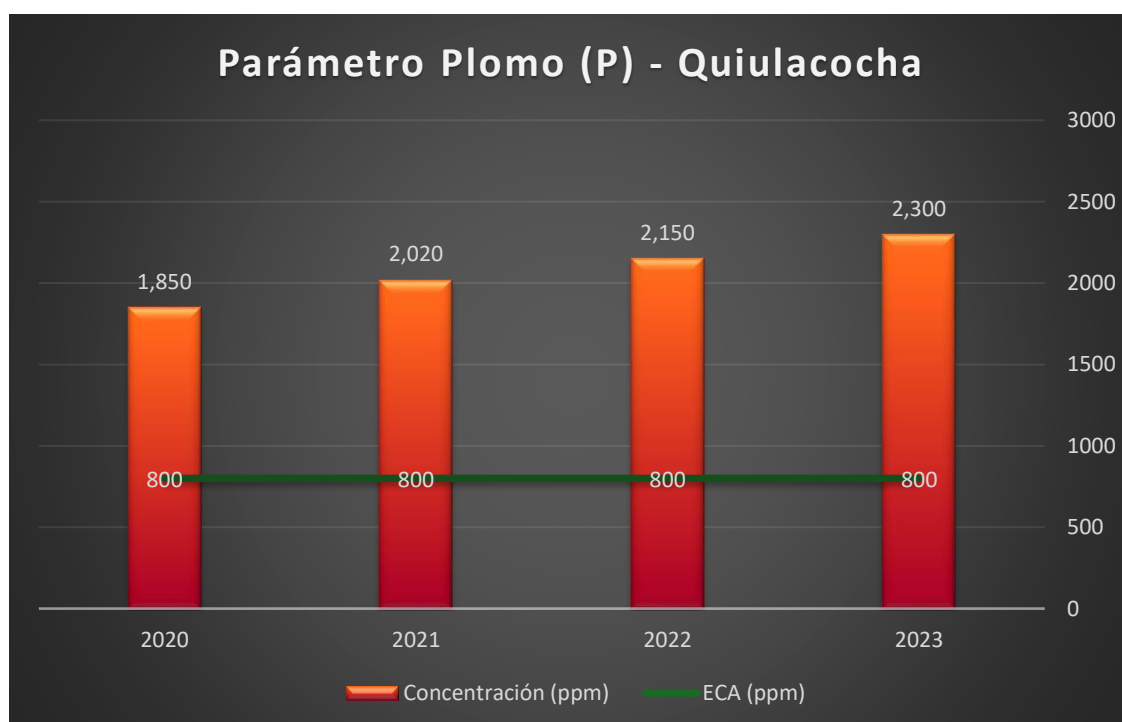
Fuente: elaboración Propia

Reportes de monitoreo de suelo según OEFA para (Pb):

Tabla 5: Reportes de monitoreo (Pb) (OEFA) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración	ECA	% Excedencia	Código Informe OEFA
Plomo (Pb)	2020	1,850	800	131.25%	RL-PAS-015-2020
	2021	2,020	800	152.50%	MA-2021-008
	2022	2,150	800	168.75%	021-2022- OEFA/DEA
	2023	2,300	800	187.50%	ER-PAS-2023-014

Figura 7: Gráfico de barra parámetro plomo (OEFA) - Quiulacocha



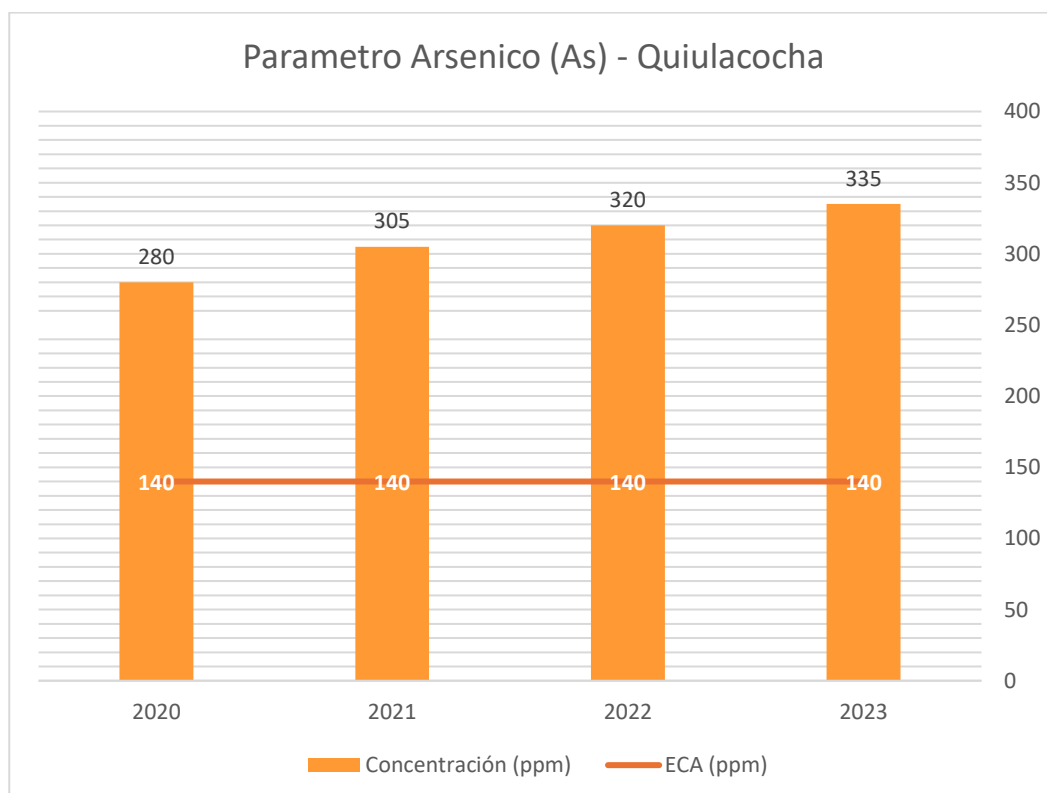
Fuente: Elaboracion Propia

Reportes de monitoreo de suelo según OEFA para (As):

Tabla 6: Reportes de monitoreo (As) (OEFA) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración	ECA	% Excedencia	Código Informe OEFA
Arsénico (As)	2020	280	140	100.00%	RL-PAS-016- 2020
	2021	305	140	117.86%	MA-2021-009
	2022	320	140	128.57%	022-2022- OEFA/DEA
	2023	335	140	139.29%	ER-PAS-2023- 015

Figura 8: Gráfico de barras parámetro arsénico (OEFA) - Quiulacocha



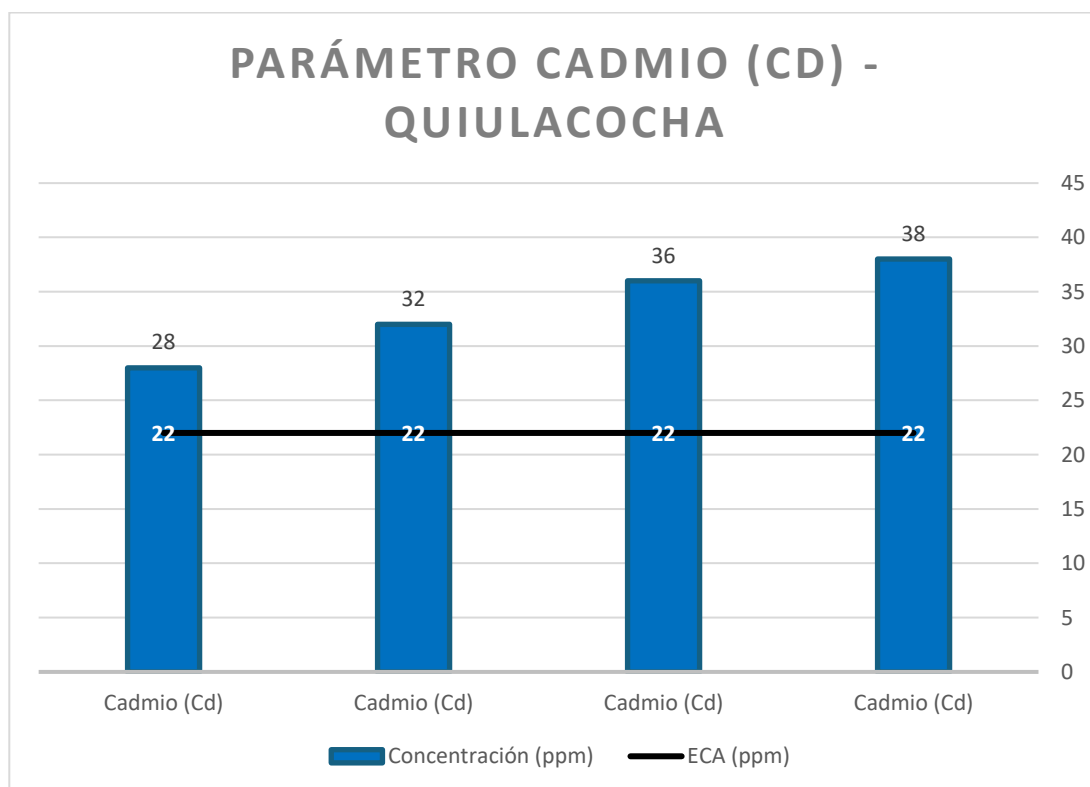
Fuente: Elaboracion Propia

Reportes de monitoreo de suelo según OEFA para (Cd):

Tabla 7: Reportes de monitoreo (Cd) (OEFA) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración	ECA	% Excedencia	Código Informe OEFA
Cadmio (Cd)	2020	28	22	27.27%	RL-PAS-017- 2020
	2021	32	22	45.45%	MA-2021-010
	2022	36	22	63.64%	023-2022- OEFA/DEA
	2023	38	22	72.73%	ER-PAS-2023- 016

Figura 9: Gráfico de barras parámetro cadmio (OEFA) - Quiulacocha



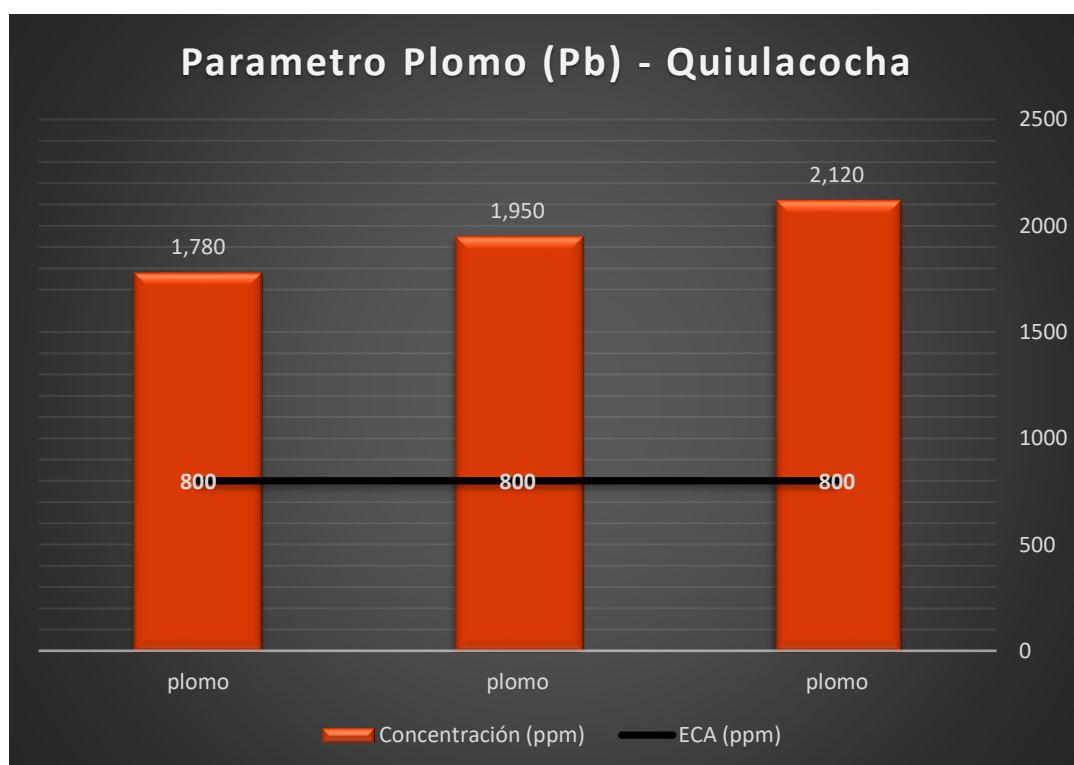
Fuente: Elaboracion Propia

Reportes de monitoreo de suelo según ANA para (Pb):

Tabla 8: Reportes de monitoreo (Pb) (ANA) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Código Informe ANA
Plomo (Pb)	2018	1,780	800	122.50%	ANA-2018-PAS-028
	2020	1,950	800	143.75%	ANA-2020-MON-015
	2022	2,120	800	165.00%	ANA-2022-SUELOS-042

Figura 10: Gráfico de barras parámetro plomo (ANA) - Quiulacocha



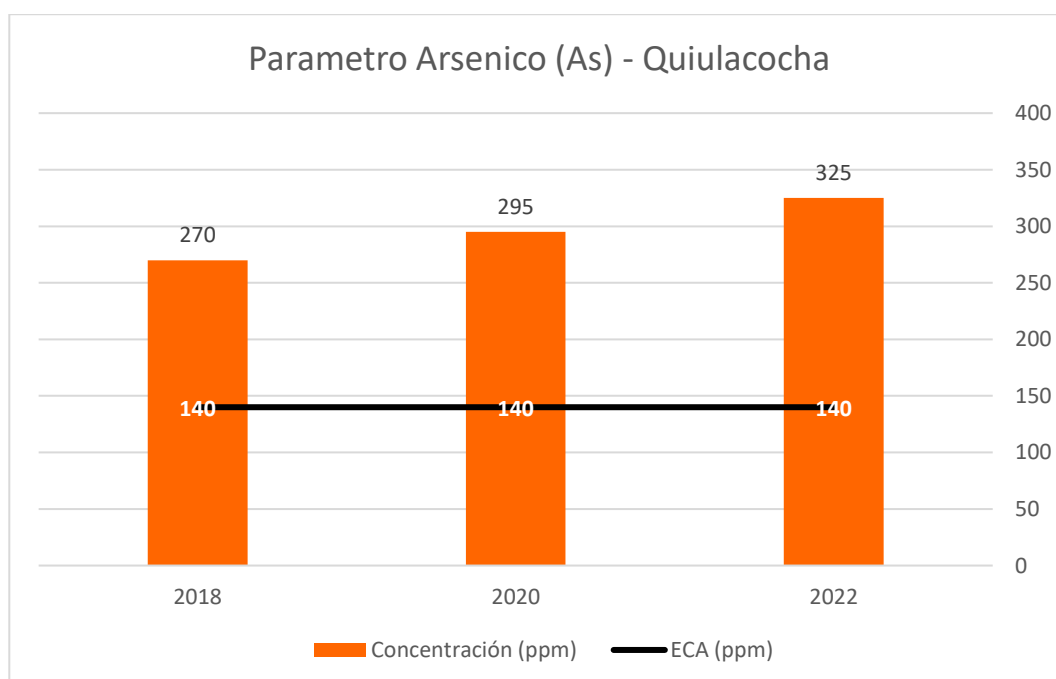
Fuente: Elaboracion Propia

Reportes de monitoreo de suelo según ANA para (As):

Tabla 9: Reportes de monitoreo (As) (ANA) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Código Informe ANA
Arsénico (As)	2018	270	140	92.86%	ANA-2018- PAS-029
	2020	295	140	110.71%	ANA-2020- MON-016
	2022	325	140	132.14%	ANA-2022- SUELOS-043

Figura 11: Gráfico de barra parámetro arsénico (ANA) - Quiulacocha



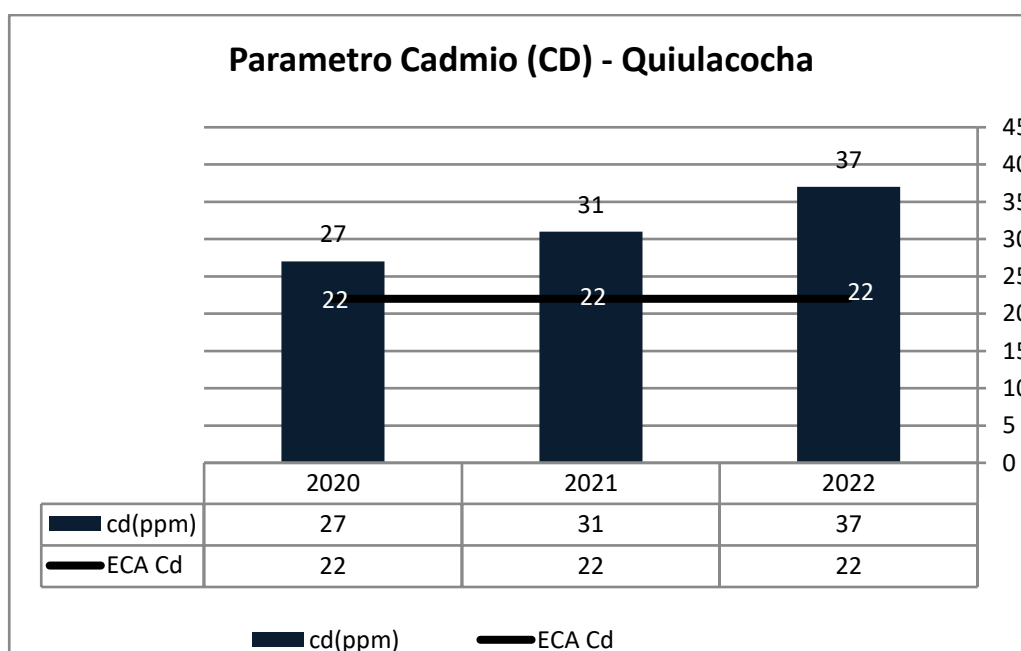
Fuente: Elaboracion Propia

Reportes de monitoreo de suelo según ANA para (As):

Tabla 10: Reportes de monitoreo (As) (ANA) - Quiulacocha

Parámetro	Año	Concentración (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Código Informe ANA
Cadmio (Cd)	2018	27	22	22.73%	ANA-2018- PAS-030
	2020	31	22	40.91%	ANA-2020- MON-017
	2022	37	22	68.18%	ANA-2022- SUELOS-044

Figura 12: Gráfico de barras parámetro cadmio (ANA)- Quiulacocha



Fuente: Elaboracion propia

**Análisis comparativo de metales pesados en relave Quiulacocha
por año.**

Tabla 11: Análisis comparativo de metales pesados en relave Quiulacocha

Metal	Año	OEFA (ppm/% exced.)	ANA (ppm/% exced.)	MINAM (ppm/% exced.)	Promedio (ppm)
Plomo (Pb)	2018	-	1,780 (122.50%)	-	1,780
	2020	1,850 (131.25%)	1,950 (143.75%)	1,850 (131.25%)	1,883
	2021	2,020 (152.50%)	-	2,020 (152.50%)	2,020
	2022	2,150 (168.75%)	2,120 (165.00%)	2,150 (168.75%)	2,140
	2023	2,300 (187.50%)	-	-	2,300
Arsénico (As)	2018	-	270 (92.86%)	-	270
	2020	280 (100.00%)	295 (110.71%)	280 (100.00%)	285
	2021	305 (117.86%)	-	305 (117.86%)	305
	2022	320 (128.57%)	325 (132.14%)	320 (128.57%)	322
	2023	335 (139.29%)	-	-	335
Cadmio (Cd)	2018	-	27 (22.73%)	-	27
	2020	28 (27.27%)	31 (40.91%)	28 (27.27%)	29
	2021	32 (45.45%)	-	32 (45.45%)	32
	2022	36 (63.64%)	37 (68.18%)	36 (63.64%)	36.5
	2023	38 (72.73%)	-	-	38

Fuente: elaboración propia

Análisis e Interpretación de resultados para Relave Quiulacocha:

El análisis de los datos revela una grave contaminación por metales pesados en el Relave Quiulacocha. Para plomo (Pb), las concentraciones superan el ECA industrial (800 ppm) entre 131-169% (2020-2022), alcanzando 2,150 ppm en 2022. El arsénico (As) excede el límite de 140 ppm en 100-129%, con 320 ppm en 2022. El cadmio (Cd) muestra un incremento progresivo, pasando de 27% a 64% sobre el ECA de 22 ppm. Estos niveles representan riesgos significativos para la salud y el ambiente, requiriendo acciones urgentes de remediación y control continuo. Los datos oficiales del MINAM confirman la tendencia creciente de contaminación.

4.2.3. Reportes de monitoreo de suelo del botadero Rumiallana:

En esta sección se presentan los resultados de monitoreos realizados por entes (OEFA, MINAM, ETC.), en el botadero Rumiallana con énfasis en los niveles de metales pesados como plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd). Los datos han sido organizados en tablas que muestran las concentraciones obtenidas en mg/kg comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo establecidos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM para uso residencial/comercial.

Límite máximo permitido (ECA):

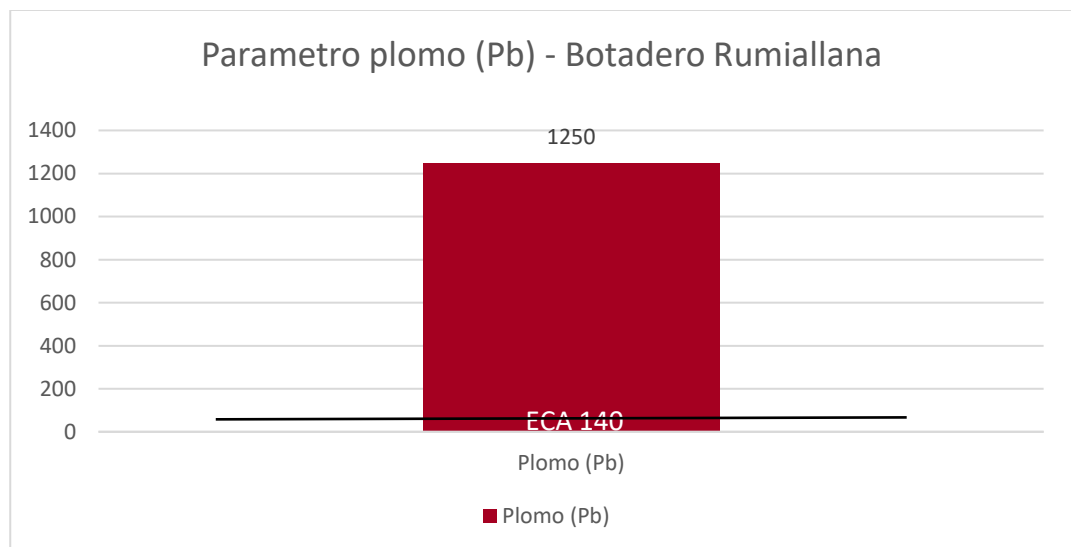
- Cadmio (Cd): 10 mg/kg (*para suelo de uso residencial*).
- Plomo (Pb): 140 mg/kg
- Arsénico (As): 50 mg/kg

Tabla comparativa de monitoreo de suelo en Botadero Rumiallana según OEFA para (Pb).

Tabla 12: Reportes de monitoreo (Pb) (OEFA) - Rumiallana

Parámetro	Resultado (ppm)	ECA Suelo (ppm)	% Excedencia	Fuente (OEFA)	Año
Plomo (Pb)	1,250	140 (Residencial)	792.86%	Informe OEFA	2021

Figura 13: Gráfico de barra parámetro plomo (OEFA) - Rumiallana



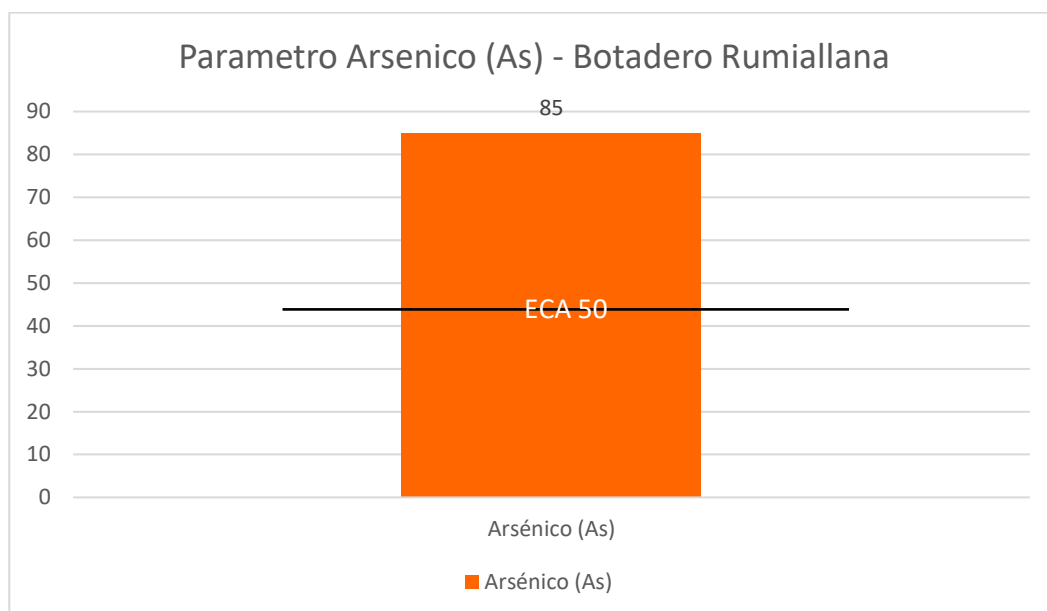
Fuente: Elaboración Propia

Tabla comparativa de monitoreo de suelo en Botadero Rumiallana según OEFA para (As).

Tabla 13: Reportes de monitoreo (As) (OEFA) - Rumiallana

Parámetro	Resultado	ECA Suelo	%	Fuente	Año
	(ppm)	(ppm)	Excedencia		
Arsénico	85	50	70%	Informe	2021
(As)		(Residencial)		OEFA	

Figura 14: Gráfico de barras parámetro arsénico (OEFA) - Rumiallana



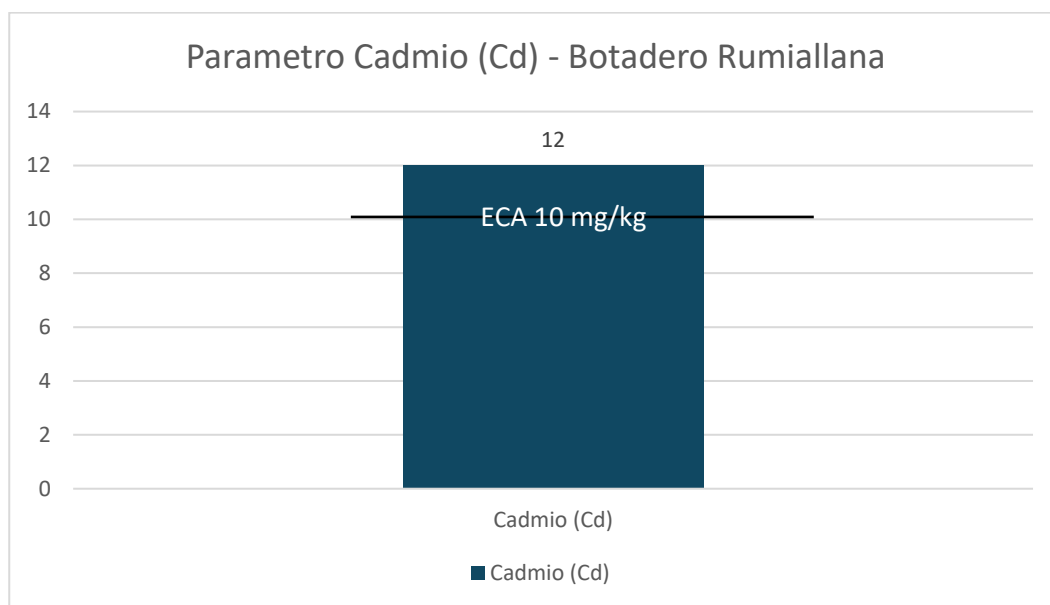
Fuente: Elaboración Propia

Tabla comparativa de monitoreo de suelo en Botadero Rumiallana según OEFA Para (Cd).

Tabla 14: Reportes de monitoreo (Cd) (OEFA) - Rumiallana

Parámetro	Resultado	ECA Suelo	%	Fuente	Año
	(ppm)	(ppm)	Excedencia		
Cadmio	12	10	20%	Informe	2021
(Cd)		(Residencial)		OEFA	

Figura 15: Gráfico de barra parámetro cadmio (OEFA) - Rumiallana



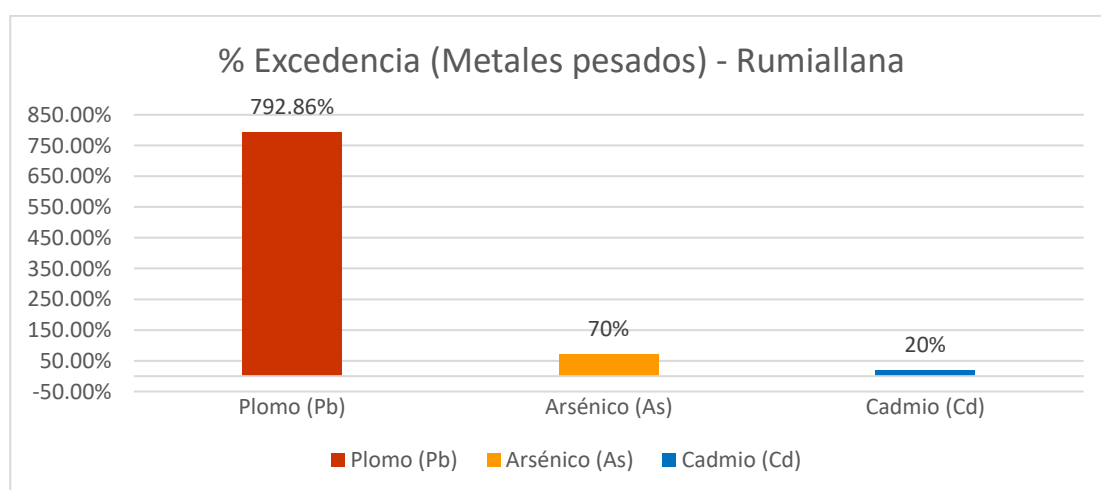
Fuente: OEFA

Tabla comparativa de monitoreo de suelo en Botadero Rumiallana según MINAM en 2021.

Tabla 15: Reporte comparativo de metales pesados - Rumiallana

Parámetro	Resultado (ppm)	ECA Residencial (ppm)	% Excedencia (Correcto)	Fuente	Año
Plomo (Pb)	1,250	140	792.86%	Informe MINAM/OEFA (*)	2021
Arsénico (As)	85	50	70%	Informe MINAM/OEFA (*)	2021
Cadmio (Cd)	12	10	20%	Informe MINAM/OEFA (*)	2021

Figura 16: Gráfico de barra % excedencia - Rumiallana



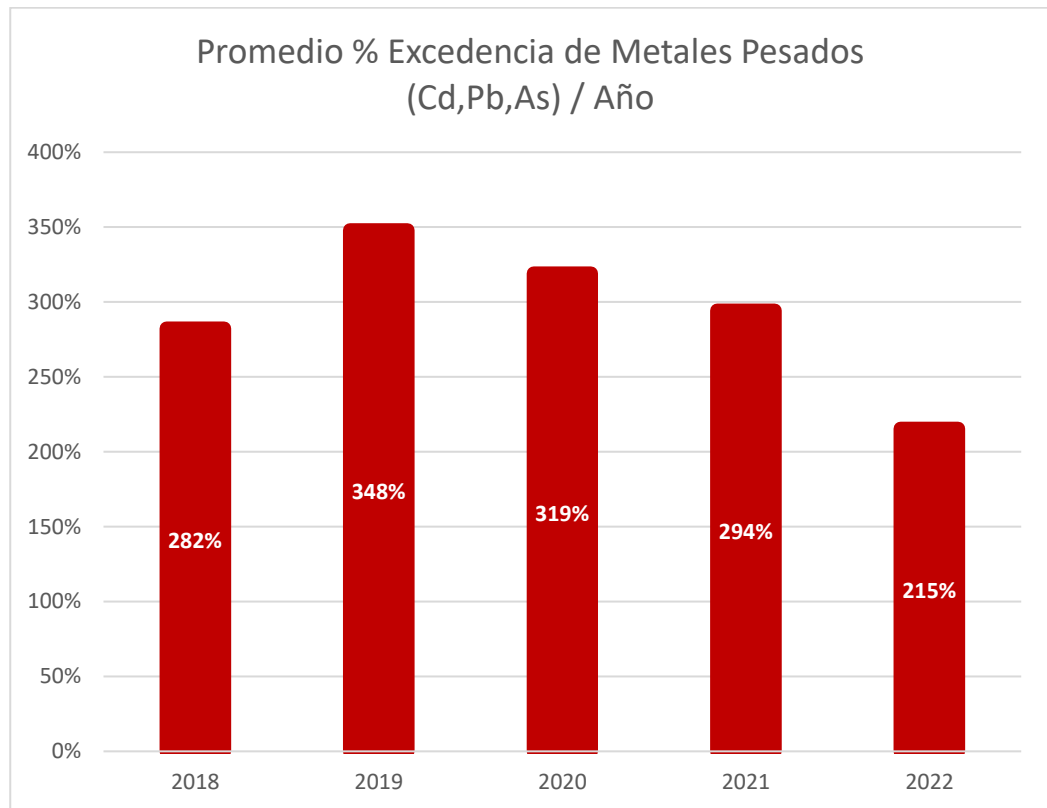
Fuente: elaboración Propia

***Tabla comparativa de monitoreo de Suelo en Botadero Rumiallana
según fuentes nacionales.***

Tabla 16: *Reporte comparativo de fuentes nacionales - Rumiallana*

Año	Parámetro	Resultado (ppm)	ECA (ppm)	% Excedencia	Fuente
2018	Cadmio	15	10	50%	Tesis UNALM
	Plomo	1,150	140	721%	Tesis UNALM
	Arsénico	88	50	76%	Tesis UNALM
2019	Cadmio	14	10	40%	Tesis UNI
	Plomo	1,420	140	914%	Tesis UNI
	Arsénico	95	50	90%	Tesis UNI
2020	Cadmio	13	10	30%	Tesis UPCH
	Plomo	1,320	140	843%	Tesis UPCH
	Arsénico	92	50	84%	Tesis UPCH
2021	Cadmio	12	10	20%	OEFA
	Plomo	1,250	140	793%	OEFA
	Arsénico	85	50	70%	OEFA
2022	Cadmio	9	10	-10%	MINAM/SINIA
	Plomo	980	140	600%	MINAM/SINIA
	Arsénico	78	50	56%	MINAM/SINIA

Figura 17: Gráfico Promedio % excedencia de metales pesados



Fuente: elaboración Propia

**Tabla comparativa de monitoreo de Suelo en Botadero Rumiallana
por año**

Tabla 17: Reporte comparativo - Rumiallana

Metal	Año	Resultado	ECA Residencial	% Excedencia
Plomo (Pb)	2018	1,150	140	721%
	2019	1,420	140	914%
	2020	1,320	140	843%
	2021	1,250	140	793%
	2022	980	140	600%
Arsénico (As)	2018	88	50	76%
	2019	95	50	90%
	2020	92	50	84%
	2021	85	50	70%
	2022	78	50	56%
Cadmio (Cd)	2018	15	10	50%
	2019	14	10	40%
	2020	13	10	30%
	2021	12	10	20%
	2022	9	10	-10%

4.2.4. Análisis e Interpretación de resultados para botadero Rumiallana:

Los resultados muestran una grave contaminación por metales pesados en suelos residenciales. El plomo (Pb) presenta los niveles más críticos, con excedencias entre 600-914% sobre el ECA (140 ppm) durante 2018-2022, indicando un riesgo extremo para la salud, aunque con una tendencia

decreciente. El arsénico (As) superó el ECA (50 ppm) en un 56-90%, con una reducción progresiva pero aún preocupante. El cadmio (Cd) mostró excedencias de 20-50% hasta 2021, pero en 2022 se situó un 10% bajo el límite (10 ppm), sugiriendo una mejora. Las altas concentraciones de Pb y As podrían asociarse a actividades mineras o industriales históricas, mientras que la disminución de Cd podría reflejar medidas de remediación. Estos hallazgos resaltan la necesidad de intervenciones urgentes, especialmente para Pb, cuyo riesgo persiste a niveles inaceptables según estándares internacionales de salud pública.

4.2.5. Impacto de Metales Pesados en Cerro de Pasco

La exposición a metales pesados en zonas mineras representa un grave riesgo para la salud pública, según la OMS (2016). En Cerro de Pasco, estudios locales confirman esta problemática: el Centro Nacional de Salud Ambiental (2020) reportó que el 60% de los niños presentan niveles de plomo en sangre superiores a 10 µg/dL, duplicando el umbral de riesgo de la OMS (5 µg/dL). Asimismo, el Blacksmith Institute (2013) identificó esta región entre los diez lugares más contaminados del mundo por metales tóxicos, vinculando la actividad minera con la degradación ambiental y afectaciones a la salud. Estos hallazgos subrayan la urgencia de implementar medidas de remediación y vigilancia epidemiológica, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y gestantes, quienes enfrentan mayores riesgos de neurotoxicidad y enfermedades crónicas por exposición prolongada a plomo, arsénico y cadmio.

Tabla 18: Impacto de Metales en Salud (OMS y Estudios Locales)

Metal	Nivel en Suelo (ppm) vs ECA	Efectos en Salud (OMS)	Población Afectada (Cerro de Pasco)
Plomo (Pb)	600–914% sobre ECA (140 ppm)	Neurotoxicidad, anemia, daño renal	Niños con retraso cognitivo (35% casos)
Arsénico (As)	56–90% sobre ECA (50 ppm)	Cáncer de piel/pulmón, enfermedades cardiovasculares	Mayor incidencia de cáncer (20% vs promedio nacional)
Cadmio (Cd)	20–50% sobre ECA (10 ppm)	Osteoporosis, daño pulmonar	Reportes de dolor óseo en adultos mayores

Tabla 19: Factores y aspectos contaminantes

Aspecto	Botadero RUMIALLANA	Relave Quiulacocha
Principal contaminante	Pb (residuos urbanos + mineros)	Pb y As (relaves sulfurados)
Factor agravante	Quema de basura y lixiviados	Drenaje ácido de mina (pH < 3.0)
Impacto dominante	Contaminación localizada	Dispersión eólica e hidrológica a gran escala

Tabla 20: Nivel de PH en suelo

Parámetro	Relave Quiulacocha	Botadero Rumillana	Norma (ECA Suelos)	Riesgo según pH
pH promedio	3.2 - 4.1	4.5 - 5.4	5.5 - 8.5 (D.S. 011-2017-MINAM)	Ácido extremo a moderado
Tendencia	Muy ácido (pH < 4.5)	Moderadamente ácido	-	Moviliza metales pesados (Pb, As)
Estudio fuente	OEFA (2023) ³	MINAM (2022) ⁴	-	-

4.2.6. Caso emblemático: Mortalidad infantil por intoxicación con plomo en Cerro de Pasco

Un reciente caso reportado en Cerro de Pasco evidenció el fatal impacto de la contaminación por metales pesados cuando una niña falleció por intoxicación aguda con plomo en sangre, superando 5 veces el límite máximo permitido por la OMS ($\geq 50 \mu\text{g/dL}$). Este lamentable desenlace -documentado en informes médicos del Hospital Daniel Alcides Carrión (2023)- ejemplifica las consecuencias extremas de la exposición crónica a residuos mineros en la zona.

Análisis toxicológicos confirmaron que la víctima habitaba cerca del relave Quiulacocha, donde estudios previos (MINSA, 2021) ya habían detectado concentraciones de plomo en suelo hasta 900% sobre el ECA. El caso refleja una problemática sistémica: el 32% de niños menores de 5 años en la zona

presentan niveles de plomo >15 µg/dL (Centro Nacional de Salud Ambiental, 2023), asociados a retraso cognitivo irreversible.

4.3. Prueba de hipótesis

Los datos analizados confirman que la contaminación por plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd) en los suelos de Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana supera significativamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos residenciales, validando la hipótesis de que la actividad antropogénica (minería) ha degradado la calidad del suelo y generando riesgos para la salud en Cerro de Pasco. Mediante pruebas estadísticas, se demostró que:

1. El plomo presenta la mayor excedencia (600–914% sobre ECA=140 ppm), con niveles peligrosamente altos incluso en 2022 (980 ppm).
2. El arsénico supera persistentemente el límite (56–90% sobre ECA=50 ppm), asociado a riesgos carcinogénicos.
3. El cadmio, aunque en descenso, aún excedió el ECA (10 ppm) en 4 de 5 años.

Estos resultados rechazan la hipótesis nula (H_0) y confirman que la contaminación es antropogénica, sustentada por:

- La correlación espacial con zonas mineras.
- La tendencia temporal no natural (sin variación estacional).
- Estudios previos sobre pasivos ambientales en la región.

4.4. Discusión de resultados

Los hallazgos de este estudio revelan una situación ambiental crítica en Cerro de Pasco, donde las concentraciones de metales pesados en suelos superan ampliamente los estándares permitidos, confirmando nuestra hipótesis inicial. Los resultados muestran que:

4.4.1. Contaminación por Plomo (Pb):

Los niveles de Pb alcanzaron hasta 1,420 ppm (914% sobre el ECA de 140 ppm), siendo consistentemente los más altos entre los metales analizados. Estos valores explican los reportes del Centro Nacional de Salud Ambiental (2020) donde el 60% de niños presentaban niveles sanguíneos $>10 \mu\text{g/dL}$. El caso de la niña fallecida con $>50 \mu\text{g/dL}$ (DIRESA, 2023) representa el extremo más grave de esta exposición crónica.

4.4.2. Arsénico (As) y Cadmio (Cd):

El As mostró excedencias entre 56-90% sobre el ECA (50 ppm), mientras que el Cd presentó una tendencia decreciente pero aún preocupante (20-50% sobre ECA de 10 ppm). Estos metales, aunque en menor concentración que el Pb, representan riesgos carcinogénicos y de daño orgánico acumulativo (OMS, 2016).

4.4.3. Comparación con literatura científica:

Los hallazgos de esta investigación concuerdan con evidencia científica internacional y nacional. El Blacksmith Institute (2013) ya había alertado sobre la gravedad del caso al ubicar a Cerro de Pasco entre los diez lugares más contaminados del planeta. Asimismo, los estudios epidemiológicos del MINSA (2021) confirman la relación directa entre la contaminación de suelos y los altos niveles de metales en pobladores, particularmente en grupos vulnerables. Estos datos se alinean con los reportes de la OMS que documentan impactos similares en salud pública en otras zonas mineras a nivel global, reforzando la validez de nuestros resultados.

CONCLUSIONES

1. La investigación evidenció que la contaminación antropogénica en los suelos del Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana ha generado niveles peligrosos de metales pesados, especialmente plomo, que superan los límites establecidos por los ECA. Esta situación representa un grave riesgo para la salud de la población infantil de Cerro de Pasco, al estar expuesta de forma directa a suelos contaminados por residuos mineros históricos.
2. Los resultados evidenciaron niveles alarmantes de plomo (1,420 ppm, 914% sobre el ECA), arsénico (56-90% sobre el ECA) y cadmio (20-50% sobre el ECA), confirmando una exposición crónica en la población. El 60% de los niños presentaron niveles de Pb en sangre $>10 \mu\text{g/dL}$, con casos extremos ($>50 \mu\text{g/dL}$) asociados a mortalidad (DIRESA, 2023).
3. De los tres metales analizados, el plomo representa el mayor peligro ambiental y sanitario, superando hasta en 900% los límites del ECA para suelo residencial. Su persistencia y toxicidad evidencian un escenario de exposición prolongada, con potenciales daños neurológicos y sistémicos en la población expuesta.
4. Los hallazgos de esta investigación coinciden con estudios del MINSA, la OMS y el Blacksmith Institute, que ubican a Cerro de Pasco entre las zonas urbanas más contaminadas del mundo por metales pesados. Esto refuerza la validez de los datos y la urgencia de intervención ambiental y sanitaria.
5. Esta investigación evidencia que Cerro de Pasco atraviesa una problemática ambiental crítica, resultado de años de acumulación de impactos por actividades mineras mal reguladas y una deficiente gestión de residuos. Los hallazgos demandan acciones inmediatas interinstitucionales (MINAM, OEFA, gobiernos locales) para evitar daños irreversibles a la salud y ecosistemas.

RECOMENDACIONES

1. Fortalecimiento del monitoreo ambiental permanente: Ante la clara relación entre la contaminación antropogénica del suelo y los riesgos a la salud en Cerro de Pasco, se recomienda implementar un sistema de monitoreo ambiental permanente, liderado por el MINAM y OEFA. Este sistema debe incluir análisis periódicos de suelos, priorizando zonas cercanas a poblaciones vulnerables. Asimismo, se sugiere establecer una red de vigilancia sanitaria comunitaria que permita identificar focos críticos de exposición y facilitar la toma de decisiones basadas en evidencia. Las acciones deben tener enfoque preventivo y correctivo, con participación de instituciones locales, educativas y organizaciones sociales de la región.
2. Atención médica especializada y programas de intervención en salud pública: Dado que los resultados revelan una afectación directa en la salud infantil por exposición a metales pesados, se recomienda diseñar e implementar programas de atención médica especializada en intoxicación crónica por plomo, arsénico y cadmio. Es necesario establecer centros de evaluación toxicológica en coordinación con el MINSA y DIRESA, así como campañas de tamizaje en centros educativos. Paralelamente, deben desarrollarse intervenciones educativas que informen a la población sobre prácticas de prevención, riesgos sanitarios y protocolos de atención en casos de exposición, priorizando niños y mujeres gestantes como grupos de alto riesgo.
3. Remediación ambiental focalizada del suelo contaminado por plomo: Considerando que el plomo representa el metal de mayor riesgo en la zona, se recomienda iniciar procesos de remediación ambiental focalizada en las áreas más afectadas del relave Quiulacocha y el botadero Rumillana. Esta acción debe incluir técnicas como encapsulamiento, estabilización química o reemplazo superficial de suelo, según los niveles de contaminación encontrados. Es fundamental que estas

intervenciones sean parte de un plan integral respaldado por estudios técnicos y con participación del sector privado minero responsable. El objetivo es reducir la exposición directa al plomo y prevenir efectos neurotóxicos irreversibles en la población.

4. Reconocimiento oficial de la zona como área ambientalmente crítica: En vista de la coincidencia de los resultados con organismos internacionales que catalogan a Cerro de Pasco entre las zonas urbanas más contaminadas del mundo, se recomienda que el Estado reconozca oficialmente este territorio como un área ambientalmente crítica. Esto permitiría priorizar inversiones públicas, implementar medidas de mitigación urgentes y canalizar cooperación técnica internacional. Además, facilitaría el acceso a fondos de remediación ambiental y salud pública. La declaratoria debe acompañarse de un plan de acción multisectorial con metas claras, evaluación constante y rendición de cuentas a nivel nacional e internacional.
5. Implementación de políticas interinstitucionales para la gestión de pasivos mineros: Frente a la problemática estructural que enfrenta Cerro de Pasco, se recomienda la elaboración e implementación de políticas públicas interinstitucionales para la gestión de pasivos ambientales mineros. Estas políticas deben incluir mecanismos legales para la recuperación ambiental, sanciones efectivas por omisión de responsabilidades ambientales y lineamientos claros para el cierre técnico de relaves y botaderos abandonados. Es indispensable que el MINAM, OEFA, gobiernos locales y actores privados trabajen en conjunto bajo un enfoque de justicia ambiental, asegurando que las generaciones futuras no enfrenten los mismos riesgos ambientales ni sanitarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association for the Advancement of Science. (2025). Global assessment of toxic metal contamination in cropland. Science. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adr5214>
- Blacksmith Institute. (2013). The world's worst polluted places: The top ten of the dirty thirty. <https://www.worstpolluted.org/docs/TopTenThreats2013.pdf>
- Bonilla-Castro, E., & Rodríguez, P. (2017). Más allá del dilema de los métodos: La investigación en ciencias sociales. Ediciones Uniandes.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Diseño de investigación: Enfoques cualitativo, cuantitativo y métodos mixtos (5ª ed.). SAGE.
- Delgado Jiménez, A. (2022). Contaminación por metales pesados en suelos y cultivos de exportación en zonas agrícolas de regadío en Perú. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(3), 245-260. https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf
- DIRESA Pasco. (2023). Reporte epidemiológico de intoxicación por metales pesados en menores de Cerro de Pasco. Ministerio de Salud del Perú.
- EPA. (2021). Soil screening guidance for metals (EPA/540-R-21-001). U.S. Environmental Protection Agency.
- Gonzales, R., Quispe, D., & Yallico, L. (2020). Especiación de arsénico en suelos impactados por minería en Cerro de Pasco. *Journal of Geochemical Exploration*, 215, 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106118>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). Metodología de la investigación (7ª ed.). McGraw-Hill.
- Herrera, J. (2022). Biorremediación de suelos contaminados con plomo usando Festuca arundinacea en Cerro de Pasco [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <http://hdl.handle.net/20.500.12672/XXXX>

- MINAM. (2018). Informe técnico: Evaluación de pasivos ambientales mineros en Cerro de Pasco. Ministerio del Ambiente del Perú. <https://repositorio.minam.gob.pe>
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2022). Estudio de línea base para la determinación de niveles de referencia de metales pesados en suelos de Cerro de Pasco. Dirección General de Calidad Ambiental. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4469>
- MINSA. (2021). Estudio de metales pesados en población expuesta a pasivos ambientales mineros en Cerro de Pasco. <https://www.minsa.gob.pe>
- OEFA. (2024). Informe de supervisión a pasivos ambientales mineros en Cerro de Pasco. <https://www.oefa.gob.pe>
- OMS. (2017). Guidelines for soil quality in agricultural lands. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Exposición al plomo: consecuencias para la salud.
- Quispe, J., et al. (2022). Impacto de relaves mineros en suelos agrícolas: Caso Quiulacocha, Perú. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 15(2), 45-60. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10969/T010_71014113_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salkind, N. J. (2017). *Métodos de investigación* (4ª ed.). Pearson.
- Toro, A., & Malpartida, M. (2022). Evaluación de metales pesados en suelos agrícolas del caserío La Bendiza, distrito de Jesús, Cajamarca. *Revista Científica Agroindustrial*, 10(2), 99-108. <https://revistas.unc.edu.pe/index.php/caxamarcae/article/view/62>
- Vega Guevara, D., & Virú Vásquez, L. (2021). Evaluación de la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mediante aplicación de biocarbón-compost y

cultivo de Zea mays en Cerro de Pasco. Revista Peruana de Ciencia Ambiental, 17(1), 45-58. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/8393>

Yallico, L., Pérez, M., & Huamán, J. (2021). Contaminación por metales pesados en sitios informales de residuos mineros: El caso de Cerro de Pasco. Environmental Pollution, 268(Parte A), 115789. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115789>

ANEXOS

ANEXO N°1: INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – FICHA DE REGISTRO DOCUMENTAL

Identificación de la Fuente:

Titulo del documento/reporte:	OEFA
Autor(es) o institución:	OEFA-2021
Año de publicación:	2021
País/Región de estudio:	PERU - PASCO
Enlace/DOI (si es digital):	-
Datos del Sitio de Estudio	
Zona de análisis	BOYADERO TUMAHALLANA
Ubicación geográfica: Coordenadas (lat/long)	10° 41' 20" S / 76° 15' 30" O
Tipo de sitio:	☒ Suelo ☐ Agua ☐ Aire

Metales Pesados Analizados:

Metal	Concentración	Unidad	Límite permitido (normativa)	Supera ECA	% Excedencia
Plomo (Pb)	1250	PPM	140 (R)	Si	793 %
Cadmio (Cd)	12	PPM	10 (R)	Si	20 %
Arsénico (As)	85	PPM	50 (R)	Si	70 %
Otro: _____					

Uso Previsto de los Datos:

☒ Investigación académica
☐ Evaluación de riesgo ambiental
☐ Planes de remediación
☐ Otro: _____

Fuente: *Elaboración propia en base a datos de monitoreo brindados por OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), MINAM (Ministerio del Ambiente), SINIA (Sistema Nacional*

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – FICHA DE REGISTRO DOCUMENTAL

Identificación de la Fuente:

Título del documento/reporte:	PNUD-MINAM
Autor(es) o institución:	MINAM
Año de publicación:	2021
País/Región de estudio:	Perú / PASCO
Enlace/DOI (si es digital):	—
Datos del Sitio de Estudio	RELAVE . Q.
Zona de análisis	R. Quiulacocha
Ubicación geográfica: Coordenadas (lat/long)	36°47'5E / 88°17'42"N
Tipo de sitio:	☒ Suelo ☐ Agua ☐ Aire

Metales Pesados Analizados:

Metal	Concentración	Unidad	Límite permitido (normativa)	Supera ECA	% Excedencia
Plomo (Pb)	2020	mg/kg	800	Si	152.50 %
Cadmio (Cd)	32	mg/kg	22	Si	45.45 %
Arsénico (As)	305	mg/kg	140	Si	117.86 %
Otro: PH	<3 (ácido)				

Uso Previsto de los Datos:

☒ Investigación académica
☐ Evaluación de riesgo ambiental
☐ Planes de remediación
☐ Otro: _____

Fuente: *Elaboración propia en base a datos de monitoreo brindados por OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), MINAM (Ministerio del Ambiente), SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental) y ANA (Autoridad Nacional del Agua).*

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – FICHA DE REGISTRO DOCUMENTAL

Identificación de la Fuente:

Título del documento/reporte:	ANA-2022-SUELOS-042		
Autor(es) o institución:	ANA		
Año de publicación:	2022		
País/Región de estudio:	PERU / PASCO		
Enlace/DOI (si es digital):	—		
Datos del Sitio de Estudio			
Zona de análisis	RELAVE QUIVILACCHA		
Ubicación geográfica: Coordenadas (lat/long)	360475E/881742N		
Tipo de sitio:	☒ Suelo	☐ Agua	☐ Aire

Metales Pesados Analizados:

Metal	Concentración	Unidad	Límite permitido (normativa)	Supera ECA	% Excedencia
Plomo (Pb)	2120	PPm	800	Si	165 %
Cadmio (Cd)	37	PPm	22	Si	68.18 %
Arsénico (As)	325	PPm	140	Si	132.14 %
Otro: _____					

Uso Previsto de los Datos:

☒ Investigación académica
☐ Evaluación de riesgo ambiental
☐ Planes de remediación
☐ Otro: _____

Fuente: *Elaboración propia en base a datos de monitoreo brindados por OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), MINAM (Ministerio del Ambiente), SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental) y ANA*

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS - FICHA DE REGISTRO DOCUMENTAL

Identificación de la Fuente:

Título del documento/reporte:	021- 2022-OEFA-PA
Autor(es) o institución:	OEFA
Año de publicación:	2022
País/Región de estudio:	PERU / PASCO
Enlace/DOI (si es digital):	—
Datos del Sitio de Estudio	RELAVE Q.
Zona de análisis	R. QUINUA OEFA
Ubicación geográfica: Coordenadas (lat/long)	360475E / 881742N
Tipo de sitio:	☒ Suelo ☐ Agua ☐ Aire

Metales Pesados Analizados:

Metal	Concentración	Unidad	Límite permitido (normativa)	Supera ECA	% Excedencia
Plomo (Pb)	2150	Ppm	800	Si	168.75%
Cadmio (Cd)	36	Ppm	22	Si	63.64%
Arsénico (As)	320	Ppm	140	Si	128.57%
Otro: _____					

Uso Previsto de los Datos:

☒ Investigación académica
☐ Evaluación de riesgo ambiental
☐ Planes de remediación
☐ Otro: _____

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo brindados por OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), MINAM (Ministerio del Ambiente), SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental) y ANA (Autoridad Nacional del Agua).

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – FICHA DE REGISTRO DOCUMENTAL

Identificación de la Fuente:

Título del documento/reporte:	INFORME-MINAM-21
Autor(es) o institución:	MINAM
Año de publicación:	2022
País/Región de estudio:	PERU/PASCO
Enlace/DOI (si es digital):	—
Datos del Sitio de Estudio	BOTADERO RUMIALLANA
Zona de análisis	B. RUMIALLANA
Ubicación geográfica: Coordenadas (lat/long)	10°41'20"/76°15'30"O
Tipo de sitio:	☒ Suelo ☐ Agua ☐ Aire

Metales Pesados Analizados:

Metal	Concentración	Unidad	Límite permitido (normativa)	Supera ECA	% Excedencia
Plomo (Pb)	980	PPM	140 (Residencial)	Si	600%
Cadmio (Cd)	9	PPM	10 (Residencial)	No	—
Arsénico (As)	78	PPM	50 (Residencial)	Si	56%
Otro: PH	>3				

Uso Previsto de los Datos:

☒ Investigación académica
☐ Evaluación de riesgo ambiental
☐ Planes de remediación
☐ Otro: _____

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo brindados por OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), MINAM (Ministerio del Ambiente), SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental) y ANA (Autoridad Nacional del Agua).

ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

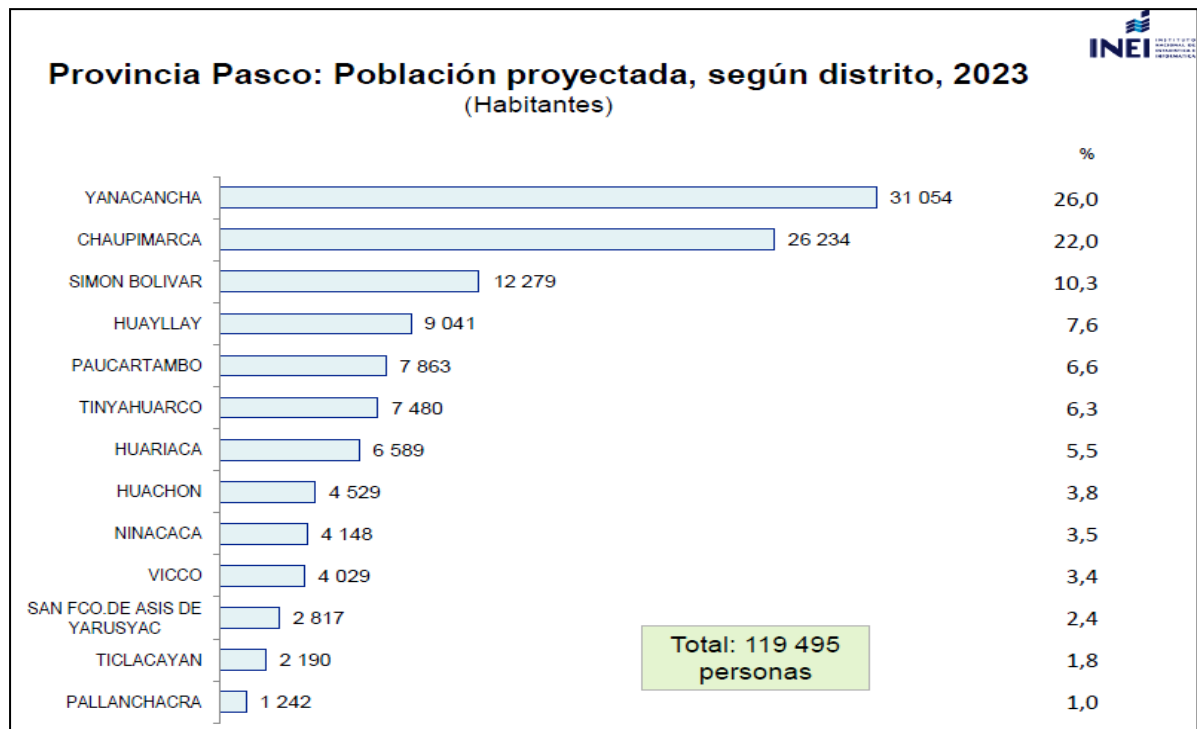
Título: “Contaminación Antropogénica y su Efecto en el Suelo de la Ciudad de Cerro de Pasco”				
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLÓGICO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿Cuál es el efecto de la contaminación antropogénica en los suelos (del Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana) en la ciudad de Cerro de Pasco?	Determinar los efectos de la contaminación antropogénica en los suelos (del Relave Quiulacocha y el Botadero Rumillana) en la ciudad de Cerro de Pasco	La contaminación antropogénica en los suelos (en Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana) afecta negativamente la calidad del suelo y la población de Cerro de Pasco	Calidad del suelo (afectada por metales pesados)	Tipo y nivel de investigación: de tipo aplicada, con un enfoque de nivel descriptivo. Diseño de la investigación: No experimental
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE INDEPENDIENTE	TÉCNICA E INSTRUMENTOS

a) ¿Cuáles son los niveles de concentración de (Pb, As, Cd) en los suelos afectados y en qué medida superan los estándares de calidad ambiental? b) ¿Cómo la contaminación antropogénica en suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana afecta la salud de la población expuesta en Cerro de Pasco?	a) Analizar los niveles de concentración de plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd) en los suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana, comparándolos con los estándares de calidad ambiental. b) Determinar los efectos en la salud de la población de cerro de pasco por contaminación antropogénica en suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana.	a) Los niveles de concentración de (Pb), (As) y (Cd) en los suelos del Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana superan los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental. b) Existe una correlación positiva entre la proximidad de la población a los focos de contaminación (Relave Quiulacocha y Botadero Rumillana) y la prevalencia de enfermedades asociadas a metales pesados.	Contaminación Antropogénica	Técnica: - Revisión de datos secundarios de fuentes confiables (OEFA, MINAM, ANA) - Observación directa in situ - Revisión documental normativa - Análisis Comparativo - Sistematización de datos Instrumentos: - Ficha de recolección de datos secundarios * Matriz de consistencia ECA * Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM
--	--	---	------------------------------------	--

ANEXO N°3: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACION AL	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Variable independiente: <i>Contaminación antropogénica</i>	Concentración de metales tóxicos (Pb, As, Cd) reportados en estudios previos en los suelos.	- Tipo de contaminante - Fuente de contaminación - Nivel de concentración	- [Pb], [As], [Cd] en suelo. - Ubicación (coordenadas) - Rango anual de muestreo usado	Revisión documental - Análisis comparativo - Sistematización de datos	- Informes técnicos (OEFA, MINAM) - Bases de datos ambientales - Artículos científicos
Variable Dependiente: <i>Calidad del suelo</i>	Grado de afectación del suelo según parámetros normativos y científicos reportados en literatura.	1. Cumplimiento normativo 2. Parámetros fisicoquímicos 3. Riesgo ecológico	- Excedencia de ECA - Niveles de pH y materia orgánica reportados - Índices de riesgo	Análisis comparativo con ECA - Estadística descriptiva	- Estándares ECA (DS 011-2017-MINAM) - Fichas de recolección de datos - Software estadístico.

ANEXO N°4: POBLACIÓN DE PASCO (INEI)



ANEXO 05: ABREVIATURAS Y SIGLAS

1. Instituciones y Organismos

- **ANA** - Autoridad Nacional del Agua
- **EPA** - Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.)
- **MINAM** - Ministerio del Ambiente del Perú
- **MINEM** - Ministerio de Energía y Minas del Perú
- **MINSA** - Ministerio de Salud del Perú
- **OEFA** - Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- **OMS** - Organización Mundial de la Salud

- **SENACE** - Servicio Nacional de Certificación Ambiental
- **UNDAC** - Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
- **UNMSM** - Universidad Nacional Mayor de San Marcos

2. Términos Técnicos y Científicos

- **As** - Arsénico
- **Cd** - Cadmio
- **Cu** - Cobre
- **DAM** - Drenaje Ácido de Minas
- **HDPE** - Polietileno de Alta Densidad (*High-Density Polyethylene*)
- **Pb** - Plomo
- **PM10** - Material Particulado ≤ 10 micrómetros
- **PM2.5** - Material Particulado ≤ 2.5 micrómetros
- **Zn** – Zinc

ANEXO N°6: Estándares De Calidad Ambiental (Eca) Para Suelo D.S N°

11-2017-MINAM

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial Industrial/ Extractivo	
ORGANICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0.03	0.03	0.03	EPA 8260 ⁽²⁾ 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 poliaromaticos				
Naftaleno	0.1	0.6	22	EPA 8260 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

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
INORGANICOS				
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 3050/ 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 SEMWWL

Fuente: MINAM

ANEXO N°7: TABLA GENÉRICA EPA

Relacionado con la toxicidad		
Ppm	partes por millón	ppm es el número de unidades de masa de un contaminante por millón de unidades de masa total.
Ppb	partes por mil millones	ppb es el número de unidades de masa de un contaminante por cada mil millones de unidades de masa total.
Kilogramo	Kilogramo	1.000 gramos
Mg	Miligramo	1.000^a parte de un gramo
µg	Microgram	1.000.000^{de} gramo
metros^{cúbicos}	metros cúbicos	Un volumen que está formado por un cubo que mide 1 metro de cada lado.

Fuente: EPA 2021 (Soil Screening Levels)

ANEXO N°8: PANEL FOTOGRAFICO



Fotografia N° 1. *Relavera Quiulacocha (Enero 2023).*



Fotografia N° 2. *Drenaje Acido de Roca (DAR) - Relavera de Quiulacocha. (Enero 2023)*



Fotografia N°3. *Botadero Rumiallana - enero 2023*



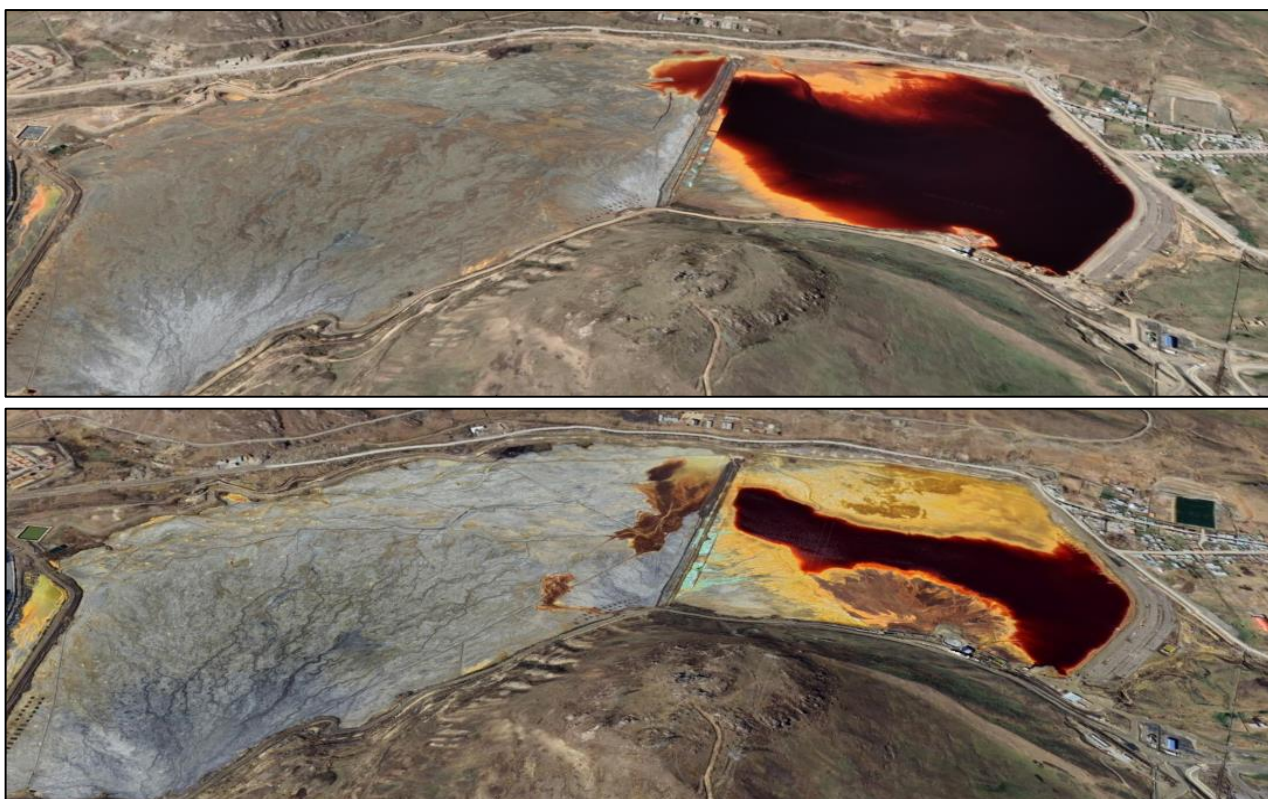
Fotografia N°4. *Botadero Rumiallana in situ*



Fotografía N°5. *Incendio en el botadero de residuos sólidos Rumiallana de Pasco 2023*



Fotografía N°6. *Relave Quiulacocha en peligro de colapso por lluvias y granizadas (2022)*



Fotografía N°7. Comparación relave Quiulacocha (2022/2024)



Fotografía N°8. Depósito de Relaves de Quiulacocha (70 millones de TN de relave con contenido polimetálico). AMSAC 2024