UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LAS CENIZAS GENERADAS POR LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS HOSPITALARIOS EN LA REGIÓN UCAYALI, 2025

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

MIGUEL ÁNGEL SAAVEDRA MERA

PUCALLPA-PERU

2026

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°261 /2026-CGyT-FCFyA-UNU

En la Ciudad de Pucallpa, siendo las 10:30 am del día jueves 16 de abril del 2026, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales siendo designados con Memo Mult. N.º 009-2026-UNU-FCsFyA-CGT, conformado por:

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez	Presidente
Dra. Dina Pari Quispe	Miembro
Dr. Walter Lauro Pérez Terrel	Miembro

Se procedió a la sustentación de la tesis titulada **"Evaluación del Potencial de Aprovechamiento de las Cenizas Generadas por la Incineración de Residuos Peligrosos Hospitalarios en la Región Ucayali, 2025"**, presentado por el bachiller **MIGUEL ANGEL SAAVEDRA MERA**, cuya sustentación se realizó adecuadamente cuyo asesor fue Mg. Jenny Paola Zeña Rubio finalizando la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, siendo absueltas por el sustentante, en consecuencia la tesis fue aprobada por **UNANIMIDAD**, y se recomienda su publicación en revista, quedando expedita para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**. Siendo las 12:00 pm del mismo día se da por culminado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad. Se recomienda levantar las observaciones para continuar el trámite correspondiente.

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez
Presidente

Dra. Dina Pari Quispe
Miembro

Dr. Walter Lauro Pérez Terrel
Miembro

ACTA DE APROBACION

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

Esta tesis fue sometida para su aprobación ante el jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

DR. RUBEN DARIO MANTURANO PEREZ
PRESIDENTE

DRA. DINA PARI QUISPE
PRIMER MIEMBRO

DR. WALTER LAURO PEREZ TERREL
SEGUNDO MIEMBRO

M.Sc. JENNY PAOLA ZEÑA RUBIO
ASESOR

Bach. MIGUEL ANGEL SAAVEDRA MERA
TESISTA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TESIS

Nº V/023-2026.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LAS CENIZAS GENERADAS POR LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS HOSPITALARIOS EN LA REGIÓN UCAYALI, 2025"

Autor(es)	:	**SAAVEDRA MERA, MIGUEL ÁNGEL**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**M.Sc. JENNY PAOLA ZEÑA RUBIO**

Presenta un **porcentaje de similitud de 9%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". **En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud**, procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 20/01/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Miguel Angel Saavedra Mera

Autor de la tesis titulada : Evaluación del Potencial de aprovechamiento de los residuos generados por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025

Sustentada el año 2026

Asesor(a): Msc. Jenny Paola Zeña Rubio

Facultad: Ciencias forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL ☐ TOTAL ☒

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 16 / 04 / 2026

Email: miguel.saavedra0116@gmail. Firma: _____

Teléfono: 925 935 752 DNI: 70433796

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, porque gracias a su apoyo, amor y sacrificio, sin ellos no hubiera sido posible este logro tan importante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión quienes me guiaron con su paciencia y su rectitud.

A mi asesora Ing. Jenny Paola Zeña Rubio por brindarme continuo asesoramiento.

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° ii

ACTA DE APROBACION iii

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION iv

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL viii

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

INTRODUCCIÓN xviii

1. CAPÍTULO I 21

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 21

1.1. Planteamiento del problema 21

1.2. Formulación del problema 23

1.2.1. Problema general 23

1.2.2. Problemas específicos 23

1.3. Objetivos de la investigación 24

1.3.1. Objetivo general 24

1.3.2. Objetivo especifico 24

2. CAPITULO II 25

MARCO TEÓRICO 25

2.1. Antecedentes 25

2.1.1. Antecedentes internacionales 25

2.1.2. Antecedentes nacionales 30

2.1.3. Antecedentes locales 32
2.2. Bases teóricas 33
2.2.1. Residuos sólidos hospitalarios 33
2.2.1.1. Clasificación 33
2.2.1.1.1. Residuos comunes (no peligrosos): 34
2.2.1.1.2. Residuos peligrosos: 34
2.2.1.2. Normativa legal en el Perú 34
2.2.1.2.1. Ley General de Residuos Sólidos (Ley N°27314): 34
2.2.1.2.2. Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM – Reglamento de la Ley N°27314 35
2.2.1.2.3. Norma Técnica de Salud NTS N° 144-MINSA/2018/DIGESA 36
2.2.2. Incineración de residuos 36
2.2.2.1. desventajas y riesgo ambientales 37
2.2.2.2. Normativa 37
2.2.2.2.1. Norma Técnica de Salud NTS N° 144-MINSA/2018/DIGESA 37
2.2.2.2.2. Decreto Legislativo N° 1278 – Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos 38
2.3. Definición de términos básicos 38
3. CAPÍTULO III 40
METODOLOGÍA 40
3.1. Método de investigación 40
3.1.1. Tipo de investigación 40
3.1.2. Nivel de investigación 40
3.1.3. Diseño de la investigación 41
3.2. Población y muestra 41
3.2.1. Población 41
3.2.2. Muestra 41
3.2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos 42

3.2.3.1. Técnicas de recolección de datos 42
3.2.3.2. Instrumentos de recolección de datos 42
3.2.3.3. Procedimiento de la investigación 43
3.2.3.3.1. Determinación de metales totales cenizas 43
3.2.3.3.2. Determinación de Coliformes Fecales y E.coli 44
3.2.3.3.3. Caracterización de residuos sólidos peligrosos 44
3.3. Tratamiento de datos 46
4. CAPÍTULO IV 48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 48
4.1. RESULTADOS 48
4.2. Aprovechamiento potencial de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025 48
4.3. Características de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 52
4.4. Determinación del contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 56
4.5. Determinación de la presencia de contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 77
4.6. Discusión 80
CAPITULO V 85
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 85
5.1. Conclusiones 85
5.2. Recomendaciones 86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88
ANEXOS 98
Anexo 1: matriz de consistencia 99

Anexo 2: Panel fotográfico 101

Anexo 3: Certificados de análisis 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de residuos sólidos hospitalarios..... 45

Tabla 2 Aprovechamiento potencial de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali 48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Característica de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios generados anualmente 52
Figura 2 Flujo de gestión de los Residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 53
Figura 3 Determinación del contenido de Aluminio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 56
Figura 4 Determinación del contenido de Arsénico en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 57
Figura 5 Determinación del contenido de Bario en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 58
Figura 6 Determinación del contenido de Boro en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 59
Figura 7 Determinación del contenido de Cadmio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 60
Figura 8 Determinación del contenido de Calcio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 61
Figura 9 Determinación del contenido de Cobalto en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 62
Figura 10 Determinación del contenido de Cobre en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 63
Figura 11 Determinación del contenido de Cromo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 64
Figura 12 Determinación del contenido de Fosforo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 65

Figura 13 Determinación del contenido de Hierro en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 66
Figura 14 Determinación del contenido de Magnesio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 67
Figura 15 Determinación del contenido de Manganeso en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 68
Figura 16 Determinación del contenido de Mercurio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 69
Figura 17 Determinación del contenido de Molibdeno en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 70
Figura 18 Determinación del contenido de Níquel en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 71
Figura 19 Determinación del contenido de Plomo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 72
Figura 20 Determinación del contenido de Potasio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 73
Figura 21 Determinación del contenido de Zinc en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados 74
Figura 22 Determinación de la presencia de Coliformes Termo tolerantes en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados 77
Figura 23 Determinación de la presencia de Escherichia Coli en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados 78
Figura 24 Ubicación y inspección del sistema de incineración del hospital 101
Figura 25 Inspección del área de almacenamiento de residuos comunes del hospital 101

Figura 26 Inspección del área de almacenamiento de residuos Biocontaminados del hospital 102

Figura 27 Inspección del área de almacenamiento de residuos especiales del hospital 102

Figura 28 Recolección de muestra de cenizas del sistema de incineración en frio 103

Figura 29 Recolección de muestras de cenizas almacenadas 103

Figura 30 Muestras recolectadas de las cenizas de incineración de los residuos del hospital 104

RESUMEN

El objetivo general fue evaluar el potencial de aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025. La investigación fue aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental transversal. Se tomó como población las cenizas generadas por el horno incinerador de un establecimiento hospitalario de Pucallpa. Se recolectaron tres muestras compuestas representativas (1 kg cada una) con cadena de custodia y se analizaron en laboratorio. El contenido de metales se determinó mediante ICP-OES siguiendo métodos EPA (6020B/3050B). La presencia de coliformes termotolerantes y E. coli se evaluó por el método de fermentación en tubos múltiples (SMEWW 9221). Los resultados se compararon con el ECA Suelo (D.S. N.° 011-2017-MINAM), el Reglamento de Fertilizantes (R.M. N.° 0178-2023-MIDAGRI) y la NTP 334.090-2013.Las cenizas presentaron baja carga microbiológica (0,18 NMP/g para coliformes termotolerantes y E. coli), evidenciando inactivación de patógenos por incineración. Químicamente, destacaron Ca (158 372 mg/kg), Zn (8 381 mg/kg), Fe (5 550 mg/kg), Pb (1 223 mg/kg), Cu (1 303 mg/kg) y Cr (296 mg/kg). La comparación normativa mostró incumplimientos relevantes para uso directo en suelos (principalmente por Ba y Pb) y limitaciones para uso como fertilizante (Cd, Cu, Cr, Pb y fósforo insuficiente). Sin embargo, la composición fue compatible con el aprovechamiento como complemento de concreto, condicionado a preacondicionamiento granulométrico. Las cenizas no fueron aptas para aplicación directa en suelo ni como fertilizante, pero sí mostraron potencial de valorización en materiales de construcción, bajo control de metales y tratamiento previo.

Palabras clave: Cenizas, incineración, residuos hospitalarios, Metales y aprovechamiento.

ABSTRACT

The overall objective was to evaluate the potential for utilizing the ash generated by the incineration of hazardous hospital waste in the Ucayali region in 2025. The research was applied, descriptive, and employed a non-experimental, cross-sectional design. The population studied consisted of the ash generated by the incinerator of a hospital in Pucallpa. Three representative composite samples (1 kg each) were collected with chain of custody and analyzed in the laboratory. Metal content was determined by ICP-OES following EPA methods (6020B/3050B). The presence of thermotolerant coliforms and E. coli was assessed using the multiple-tube fermentation method (SMEWW 9221). The results were compared with the ECA Soil (Supreme Decree No. 011-2017-MINAM), the Fertilizer Regulations (Ministerial Resolution No. 0178-2023-MIDAGRI), and NTP 334.090-2013. The ash showed a low microbiological load (0.18 MPN/g for thermotolerant coliforms and E. coli), demonstrating pathogen inactivation by incineration. Chemically, the most notable components were Ca (158,372 mg/kg), Zn (8,381 mg/kg), Fe (5,550 mg/kg), Pb (1,223 mg/kg), Cu (1,303 mg/kg), and Cr (296 mg/kg). The regulatory comparison revealed significant non-compliance for direct use in soils (mainly Ba and Pb) and limitations for use as a fertilizer (insufficient Cd, Cu, Cr, Pb, and phosphorus). However, the composition was compatible with its use as a complement to Type II concrete, provided it underwent granulometric preconditioning. The ash was not suitable for direct application to soil or as a fertilizer, but it did show potential for valorization in construction materials, under metal control and with prior treatment.

Keywords: Ashes, incineration, hospital waste, metals and recovery.

INTRODUCCIÓN

En el Capítulo i se presenta el Planteamiento del problema, el incremento sostenido de los residuos peligrosos hospitalarios constituye un desafío ambiental y sanitario relevante, especialmente en regiones donde los sistemas de gestión presentan limitaciones técnicas y operativas. En la región Ucayali, la incineración es el método más utilizado para el tratamiento de estos residuos debido a su eficacia en la reducción de volumen y eliminación de patógenos. No obstante, este proceso genera cenizas que concentran metales pesados y otros compuestos potencialmente tóxicos, los cuales pueden representar un riesgo ambiental si no se gestionan adecuadamente. La ausencia de estudios locales que caractericen estas cenizas y evalúen sus posibilidades de aprovechamiento limita la toma de decisiones técnicas y normativas. En este contexto, el presente capítulo expone el problema de investigación, formula las preguntas y objetivos, y justifica la necesidad de evaluar el potencial de aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en Ucayali.

En el Capítulo ii se presenta el Marco teórico, desarrolla los fundamentos conceptuales y normativos que sustentan la investigación. Se abordan los antecedentes internacionales, nacionales y locales relacionados con la gestión de residuos hospitalarios, la incineración y la caracterización de cenizas, destacando los principales hallazgos sobre la presencia de metales pesados y riesgos asociados. Asimismo, se presentan las bases teóricas sobre la clasificación de residuos sólidos hospitalarios, los procesos de incineración, sus ventajas y desventajas ambientales, y las alternativas de valorización de cenizas reportadas en la literatura científica. Finalmente, se revisa el marco legal vigente

en el Perú, incluyendo normas del MINAM, MINSA y MIDAGRI, que regulan la gestión de residuos y los criterios para el aprovechamiento de subproductos, proporcionando el sustento técnico legal del estudio.

En el capítulo iii se presenta la Metodología, este capítulo describe el enfoque metodológico aplicado para el desarrollo de la investigación. Se detalla el tipo, nivel y diseño del estudio, así como la población y muestra consideradas, representadas por las cenizas generadas en el proceso de incineración de residuos hospitalarios en la ciudad de Pucallpa. Asimismo, se explican las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procedimiento de muestreo y los métodos analíticos utilizados para la determinación del contenido de metales pesados y la evaluación microbiológica. Finalmente, se presenta el tratamiento estadístico de los datos, basado en estadística descriptiva y comparación con estándares normativos, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

En este capítulo iv se presentan y analizan los resultados obtenidos del estudio. Se expone la caracterización de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados, el contenido de metales en las cenizas y la evaluación microbiológica correspondiente. Los resultados se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos, el Reglamento de Fertilizantes y normas técnicas aplicables, con el fin de determinar su potencial de aprovechamiento. Asimismo, se discuten los hallazgos a la luz de estudios científicos recientes, identificando similitudes, diferencias y posibles explicaciones técnicas. Este análisis permite evaluar los riesgos ambientales y las oportunidades de valorización de las cenizas como materiales alternativos, especialmente en el sector de la construcción.

El último capítulo v sintetiza las conclusiones y recomendaciones del estudio en función de los objetivos planteados. Se presentan conclusiones claras sobre el potencial de aprovechamiento de las cenizas de incineración de residuos hospitalarios, considerando sus características químicas y microbiológicas. Asimismo, se formulan recomendaciones técnicas y de gestión orientadas a mejorar el manejo de las cenizas, promover su valorización segura y reducir los riesgos ambientales asociados. Estas recomendaciones están dirigidas a los establecimientos de salud, autoridades ambientales y futuras investigaciones, con el propósito de contribuir a una gestión más sostenible de los residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El Organismo Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente el 85 % del total de residuos generados por actividades sanitarias es no peligroso, mientras que el 15 % restante corresponde a residuos peligrosos —infectocontagiosos, químicos o radiactivos (OMS, 2024). La producción global de residuos hospitalarios oscila entre 0,5 y 3 kg por cama por día, según país y nivel de ingresos; un meta-análisis en 78 países reportó un promedio global de 2,04 kg/cama/día, alcanzando hasta 3,82 kg/cama/día en América (Kaposi y otros, 2024). En países de ingresos bajos y medios, como muchos en Latinoamérica y África, las tasas de generación de residuos peligrosos oscilan entre 0,2 y 0,5 kg/cama/día, aunque la falta de separación adecuada puede elevar la proporción real de residuos peligrosos.

El manejo inadecuado de residuos hospitalarios no solo plantea riesgos biológicos, sino también contaminación química y física. Según datos de BusinessWaste, el sector salud contribuye con entre el 1 % y 2 % de los residuos urbanos y el mal manejo puede causar hasta 5,2 millones de muertes anuales por enfermedades asociadas (Graham Matthews, 2024).

La incineración ha sido históricamente el método principal para el tratamiento de residuos hospitalarios peligrosos, especialmente en países en desarrollo. Se considera efectiva porque destruye patógenos, reduce

volumen y minimiza riesgos biológicos durante el transporte y disposición (Adama y otros, 2016). En Perú, por limitaciones técnicas y normativas, suele emplearse incineración local en hospitales o plantas municipales con escasos controles ambientales (Ministerio de Salud, 2018). No obstante, este proceso concentra los metales pesados presentes en los residuos como Cr, Pb, Cd, Ni, Hg, Zn en las cenizas (Zhao y otros, 2009). Por ejemplo, en un estudio en China, valores de metales variaron entre 1,1 y 121 411 mg/kg, superando los límites regulados por la EPA en varios casos En Ghana, se detectaron en cenizas concentraciones de Zn (16 417 mg/kg), Pb (143 mg/kg), Cr (99 mg/kg) y Cd (7,5 mg/kg), contaminando suelos adyacentes en un radio de hasta 60 m (Adama y otros, 2016).

Las cenizas resultantes, si no se tratan adecuadamente, pueden liberar metales al suelo y agua. El alto contenido de cloruros, azufre y metales solubles contribuye a la lixiviación de compuestos tóxicos hacia sistemas agua-suelo-planta (Gielar y Helios, 2013). Uno de los problemas más importante es reconocer que se puede hacer con estos residuos de los residuos hospitalarios.

En la región de Ucayali, el manejo de residuos peligrosos hospitalarios representa un desafío ambiental y sanitario considerable, especialmente en lo referente a su tratamiento final mediante incineración. Esta práctica, aunque común y eficaz para reducir el volumen y la peligrosidad de dichos residuos (Organizacion Mundial de la salud, 2024). A pesar del uso extendido de la incineración en hospitales de la región, existe una evidente falta de estudios que evalúen de forma sistemática la composición de las cenizas

resultantes y, en particular, la presencia de metales pesados en ellas (Bonilla y Cordova, 2021).

En este contexto, la presente investigación busca evaluar la presencia de metales pesados en las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en Ucayali durante el año 2025, así como caracterizar los residuos incinerados y determinar tanto su volumen como la concentración de metales presentes en sus subproductos sólidos, para poder proponer alternativas futuras de uso y solucionar esta problemática.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

•¿Cuál es el potencial para el aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados?
- ¿Cuál es el contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados?
- ¿Existe contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

•Evaluar el potencial de aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025

1.3.2. Objetivo especifico

- Caracterizar los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados
- Determinar el contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados
- Determinar la presencia de contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Yang y otros (2025), proponen una estrategia innovadora para mejorar la inmovilización de metales pesados en cenizas de fondo de incineración de residuos médicos (MBA). Señalan que, aunque la carbonatación acelerada es útil, su eficacia se ve limitada por el crecimiento descontrolado de carbonato de calcio, que forma capas incompletas. Para superar esta limitación, el estudio introduce trietilamina (TEA) y etanol como reguladores del proceso de precipitación y del tamaño de las partículas. La TEA, al formar enlaces con el carbonato, inhibe su crecimiento, generando estructuras similares a nanocables. Asimismo, se incorpora escoria de carburo (CS) para aportar calcio reactivo y favorecer un ambiente alcalino que intensifica la formación de carbonato. La combinación de TEA y CS mejora significativamente la inmovilización de metales como Fe, Pb, Ba, Cu, Sr y As. La formación de capas más densas y la penetración de los oligómeros en los poros de las cenizas favorece la retención de estos contaminantes. Esta técnica ofrece un enfoque eficaz y prometedor para la gestión ambiental de residuos peligrosos.

Song y otros (2024), investigaron la estabilización y solidificación de metales pesados mediante la covitrificación de cenizas de incineración de residuos médicos (MWIA) con cenizas volantes de carbón (CFA). Las MWIA contienen altos niveles de metales pesados, dioxinas y cloro, lo que

representa un riesgo ambiental y sanitario si no se trata adecuadamente. Debido a su bajo contenido de Ca, Si y Al, su vitrificación presenta desafíos. Para superarlos, se añadió CFA al proceso, logrando un producto con un 98,61 % de contenido vítreo y una solidificación inicial del 67,38 %. Se analizó la distribución morfológica de los metales pesados antes y después del tratamiento, demostrando que la covitrificación estabiliza y solidifica eficazmente los contaminantes. Este estudio confirma la viabilidad del uso combinado de MWIA y CFA en procesos de fusión a alta temperatura, acelerando la desintoxicación de residuos médicos y reduciendo su impacto ecológico.

Valizade y otros (2024), plantean una estrategia para controlar los riesgos de metales pesados presentes en cenizas de incineradoras de residuos, evaluando su uso en la producción de cemento. Aunque la incineración reduce el volumen de residuos, genera subproductos peligrosos como cenizas y gases contaminantes. En su estudio, se analizaron mensualmente tres tipos de cenizas (de fondo, de horno secundario y volantes) provenientes de incineradoras en Teherán y Nowshahr, identificando concentraciones de metales como Cu (21,51 %), Zn (58,7 %), Cr (15,88 %) y otros en menores proporciones. Al incorporar estas cenizas en la producción de cemento junto con zeolita, se logró reducir significativamente la liberación de metales al ambiente. El escenario óptimo, que utiliza un 20 % de cenizas y un 10 % de zeolita, permitió evitar la emisión de hasta 10,6 toneladas de metales pesados por año. Se concluye que la solidificación de cenizas en matrices cementicias representa una alternativa

viable y complementaria para mitigar los impactos ambientales de los residuos de incineradoras.

Alhameed y otros (2023), realizaron una revisión sobre las cenizas de incineradores de residuos hospitalarios, destacando el aumento significativo de estos residuos tras la pandemia de COVID-19. Su estudio experimental se centró en la eliminación de metales pesados (Cu, Pb, Zn, Cd y Ni) presentes en las cenizas volantes de incineración médica (MWIFA). Utilizaron columnas con EDTA disódico (Na_2EDTA) y hierro de valencia cero, logrando reducciones de hasta el 99,7 % en las concentraciones metálicas del efluente. Además, demostraron que el Na_2EDTA puede recuperarse y reutilizarse, manteniendo altas eficiencias de extracción (entre 50,7 % y 73,9 %). Aunque se observaron leves disminuciones en la eficiencia tras el reciclaje del agente quelante, los resultados respaldan la viabilidad de este sistema como una opción económica y sostenible. Este método de tratamiento representa una alternativa prometedora para la descontaminación de residuos hospitalarios y sugiere un alto potencial para su implementación a escala industrial.

Kofi y Pimenta (2023), analizaron las características químicas de las cenizas de fondo (BA) generadas por incineradores de residuos biomédicos en Ghana, específicamente en los hospitales de Tema (TGH) y Asuogyaman (VRAH). Señalan que la incineración es ampliamente utilizada en países en desarrollo, pero la gestión inadecuada de las cenizas representa un serio riesgo ambiental. Las muestras fueron analizadas mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) y absorción atómica (AAS), revelando altos contenidos de $CaCO_3$ y CaO. En ambas instalaciones, los metales pesados predominantes fueron titanio, zinc y hierro, con concentraciones

muy por encima de los límites permisibles establecidos por la OMS para suelos. En TGH, el orden de concentración fue Ti > Zn > Fe, y en VRAH, Ti > Fe > Zn. Dado el alto nivel de toxicidad de estos metales, el estudio concluye que es esencial disponer adecuadamente las BA para evitar impactos negativos en el ambiente y la salud pública.

Chowdhury y otros (2023), evaluaron el uso de cenizas volantes de incineración de residuos médicos (MWIFA) como relleno mineral en capas bituminosas para pavimentos flexibles, en sustitución del polvo de piedra convencional. Aunque el MWIFA contiene metales pesados potencialmente tóxicos, se realizaron pruebas de ingeniería y ambientales para validar su viabilidad. Se analizaron parámetros como estabilidad Marshall, vacíos de aire, flujo y peso unitario con proporciones de relleno entre 2 % y 10 %, cumpliendo todos los criterios de diseño. El mejor desempeño se obtuvo con 5,5 % de MWIFA, superando incluso al polvo de piedra, que requería 9 % para resultados similares. Las mezclas con MWIFA demostraron buena resistencia a la humedad, lo cual es favorable en climas húmedos como el de Bangladesh. Las pruebas de lixiviación revelaron una movilidad insignificante de metales pesados, y sus concentraciones estuvieron muy por debajo de los límites regulatorios holandeses. El estudio concluye que el MWIFA puede utilizarse como un material ecológico y sostenible en la construcción de pavimentos, ofreciendo una solución técnica viable y ambientalmente segura para el reciclaje de residuos médicos.

Beikmohammadi y otros (2023), analizaron las cenizas de fondo (BA) provenientes de la incineración de residuos sólidos urbanos en Teherán, enfocándose en su contenido de metales pesados, raros y preciosos según

el tamaño de partícula. Aunque la incineración permite una mejor gestión de residuos y recuperación energética, las BA pueden representar riesgos ambientales si no se gestionan adecuadamente. El estudio fraccionó las BA en diferentes granulometrías y utilizó técnicas como ICP-MASS, XRF y XRD para identificar su composición. Se encontró que los metales pesados (Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, entre otros) se concentraban especialmente en partículas menores de 4 mm. Asimismo, el oro y la plata estaban presentes en mayor proporción en partículas menores de 0,5 mm, lo que plantea una oportunidad económica para su recuperación. También se detectaron metales raros como cerio, neodimio, lantano e itrio. Dado el alto contenido de elementos peligrosos y valiosos, los autores concluyen que las BA deben someterse a un pretratamiento antes de su reutilización o disposición final, asegurando así tanto la sostenibilidad como la protección ambiental.

Shen y otros (2022), investigaron el uso de cenizas volantes de incineración de residuos médicos (MWI FA) como aditivo para mejorar la volatilización por cloración de metales pesados en residuos de incineración. Señalan que la presencia de altos contenidos de metales pesados y cloro (Cl) complica la disposición final de estos residuos, especialmente tras los cambios provocados por la pandemia y la nueva clasificación de residuos en China. El estudio mostró que al mezclar MWI FA con cenizas volantes de residuos sólidos urbanos (MSWI FA) en proporción 1:3, las tasas de volatilización de Cu, Zn, Pb y Cd alcanzaron hasta el 99,7 % a 1000 °C. Al combinar MWI FA con escoria de residuos médicos (MWI S) en proporción 1:1, la eficiencia fue aún mayor, llegando al 100 % para el Cd a 1200 °C. La MWI FA actúa reponiendo el cloro, aumentando la porosidad y superficie de

reacción mediante la sublimación de NaCl y la descomposición de $CaSO_4$, y reduciendo la viscosidad al destruir la matriz vítrea con Na_2O. En conclusión, la MWI FA puede co-disponerse con otros residuos incinerados para mejorar significativamente la eliminación térmica de metales pesados.

Wei y otros (2022), propusieron una solución segura y rentable para la eliminación de cenizas volantes (HFA) provenientes de la incineración de residuos peligrosos, las cuales contienen altas concentraciones de metales pesados y sales solubles. Utilizaron geopolímeros activados alcalinamente para estabilizar y solidificar los metales pesados en las HFA, incorporando diferentes aluminosilicatos (metacaolín, cenizas volantes y polvo de vidrio). Para eliminar las sales solubles, se aplicó un lavado con agua tras el tratamiento, evitando así la lixiviación de metales. Los resultados mostraron que, con más del 20 % de adición de aluminosilicatos, los niveles de metales lixiviados cumplen con la normativa china (GB18598-2019). Se eliminó más del 77 % de Cl^- y más del 64 % de SO_4^{2-}, y la concentración de Zn lixiviado se mantuvo por debajo de 0,52 ppm. El gel de aluminosilicato de sodio hidratado (NASH), generado durante la geopolimerización, formó una barrera efectiva contra la lixiviación. Por tanto, este enfoque demuestra que los geopolímeros basados en HFA pueden ser una alternativa viable para su disposición segura en vertederos flexibles.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Cruz (2023), evaluó los riesgos ambientales asociados al manejo de residuos sólidos hospitalarios en los tópicos de salud de una empresa agroindustrial en Moche, empleando un diseño cualitativo de investigación–

acción. Se aplicaron listas de verificación basadas en la NTS N.° 144-MINSA/2018/DIGESA y se caracterizaron los residuos generados. Para estimar los niveles de riesgo ambiental se utilizó la metodología del OEFA (2017). Los resultados revelaron una gestión general deficiente, con problemas especialmente marcados en la segregación y almacenamiento primario, y muy deficiente en las etapas de recolección, transporte interno y tratamiento. Se identificó que el 74,25 % de los residuos eran biocontaminados, seguidos por residuos comunes y especiales. Los niveles de riesgo ambiental fueron clasificados como moderado a significativo, siendo más críticos en las etapas de tratamiento y almacenamiento. El estudio evidencia la urgente necesidad de mejorar los procesos de gestión de residuos hospitalarios en entornos empresariales para prevenir impactos ambientales y sanitarios.

Pastor (2022), Se determinó que se generan en promedio 221.48 kg/día de residuos, con predominancia de residuos biocontaminados (185.92 kg/día) frente a los comunes (53.87 kg/día). Las áreas con mayor generación de residuos biocontaminados fueron sala de operaciones, emergencia y UCI. En cuanto a residuos comunes, destacaron emergencia y patología. El 80% del personal encuestado fue femenino, siendo las licenciadas en enfermería el grupo más representativo. El 76.2% del personal genera residuos biocontaminados y frecuentes. Se identificaron opiniones mayoritariamente negativas sobre el manejo, capacitación e incidencias relacionadas con los residuos, aunque se valoró como bueno el sistema general.

Condezo (2022), realizó un estudio sobre la caracterización de los residuos sólidos hospitalarios generados por la atención de pacientes con

COVID-19 en el Hospital Dr. Daniel Alcides Carrión García de Yanacancha, Pasco. Se determinó que el 63% de los residuos correspondían a la clase biocontaminada (residuos de atención al paciente y punzocortantes), mientras que el 37% eran residuos comunes (papeles, cartones, plásticos y restos de comida), siendo mínima la generación de residuos especiales. El estudio evidenció un manejo inadecuado de estos residuos, lo que resalta la necesidad de mejorar los procesos de segregación, almacenamiento y disposición final.

Sarango y Valentin (2020), en su investigación “Técnicas de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios: revisión sistemática”, analizaron diversas tecnologías utilizadas para el tratamiento de estos residuos, considerando su impacto ambiental, costo operativo, capacidad de tratamiento, tiempo requerido y generación de contaminantes como dioxinas, furanos y cenizas volantes. Identificaron que en países en desarrollo predominan la incineración en hornos rotatorios con lavadores de gases y la esterilización con vapor en autoclave, mientras que en países con menos recursos se usa la incineración en hornos fijos sin control de emisiones o simplemente la disposición final. También destacan técnicas más limpias como la irradiación por microondas y la inertización química. El estudio busca servir como guía para una mejor planificación en el manejo de estos residuos.

2.1.3. Antecedentes locales

Dreyfus (2022), en su estudio realizado en el Hospital Amazónico de Yarinacocha (Ucayali), evaluó los riesgos sanitarios relacionados al manejo de residuos sólidos hospitalarios mediante un enfoque no experimental,

aplicando la NTS N° 144-MINSA-2018-DIGESA y la matriz IPER. Se identificaron puntos críticos de riesgo y se propusieron medidas de control. Los resultados mostraron que el personal asistencial y de limpieza posee un buen conocimiento de las normas de bioseguridad. El análisis de riesgos arrojó un valor promedio de 25, clasificando el riesgo sanitario como moderado. Se recomendó implementar protocolos específicos para mejorar la gestión integral de residuos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Residuos sólidos hospitalarios

Los residuos sólidos hospitalarios (RSH), también conocidos como residuos de establecimientos de atención médica, comprenden todos los desechos generados como resultado de actividades de diagnóstico, tratamiento, inmunización, investigación médica o producción de productos biológicos en hospitales, clínicas, laboratorios y otros centros de salud (Organización Mundial de la Salud, 2022). Estos residuos pueden representar un riesgo biológico, químico o físico si no se gestionan adecuadamente, y su manejo inadecuado puede provocar contaminación ambiental y enfermedades transmisibles.

2.2.1.1. Clasificación

Según Ministerio de Salud, (2018) la Norma Técnica de Salud NTS N° 144-MINSA/2018/DIGESA, los RSH se dividen en:

2.2.1.1.1. Residuos comunes (no peligrosos):

Son similares a los residuos domésticos y no representan peligro. Incluyen restos de comida, papel, cartón, envases plásticos, entre otros.

2.2.1.1.2. Residuos peligrosos:

Representan un riesgo potencial para la salud humana y el ambiente. Estos se subdividen en:

- Infecciosos: Sangre, fluidos corporales, tejidos, material contaminado.
- Cortopunzantes: Agujas, bisturíes, jeringas, ampollas rotas.
- Químicos: Medicamentos vencidos, residuos de laboratorio, productos de limpieza tóxicos.
- Radiactivos: Desechos provenientes de tratamientos o investigaciones nucleares.
- Farmacéuticos: Medicamentos caducados, productos citotóxicos.

2.2.1.2. Normativa legal en el Perú

El marco legal para la gestión de residuos hospitalarios en el Perú está vinculado con:

2.2.1.2.1. Ley General de Residuos Sólidos (Ley N°27314):

Congreso de la republica, (2000), promulgada en el año 2000, es el marco legal general para la gestión de residuos sólidos en todo el país. Tiene como objetivo establecer los principios, normas y obligaciones aplicables a todos los generadores de residuos, incluyendo los establecimientos de salud. El cual propone que:

- Clasifica los residuos en peligrosos y no peligrosos.
- Establece que los generadores de residuos tienen la responsabilidad de su adecuado manejo.
- Promueve la minimización, reutilización y reciclaje de residuos.
- Determina la necesidad de planes de manejo por parte de los generadores.

2.2.1.2.2. Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM – Reglamento de la Ley N°27314

Este reglamento, emitido por el Ministerio del Ambiente, desarrolla de manera más específica lo dispuesto en la Ley N° 27314. Define los procedimientos, responsabilidades y mecanismos de fiscalización para asegurar una adecuada gestión integral de los residuos sólidos. El cual propone que:

- Define los actores responsables: generadores, operadores de residuos, gobiernos locales y organismos de fiscalización.
- Obliga a los establecimientos de salud a presentar un Plan de Manejo de Residuos Sólidos aprobado por la autoridad de salud.
- Requiere que los residuos peligrosos cuenten con un tratamiento previo antes de su disposición final.
- Establece los procedimientos para la fiscalización ambiental y sanciones por incumplimiento.

2.2.1.2.3. Norma Técnica de Salud NTS N° 144-MINSA/2018/DIGESA

Según Ministerio de salud, (2018), se encarga de regula exclusivamente la gestión de residuos sólidos generados en establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo. Es de cumplimiento obligatorio para hospitales, clínicas, laboratorios, consultorios, bancos de sangre, centros odontológicos, entre otros. El cual define que :

- Establece la clasificación de los residuos hospitalarios (comunes y peligrosos).
- Define los colores y tipos de contenedores para la segregación adecuada.
- Indica los protocolos para el almacenamiento, transporte interno y externo, tratamiento y disposición final.
- Obliga a la capacitación del personal de salud en el manejo seguro de residuos.
- Exige la implementación de un Plan de Gestión de Residuos Hospitalarios.

Esta norma técnica está alineada con los estándares de la Organización Mundial de la Salud y busca mejorar las condiciones sanitarias dentro de los establecimientos de salud.

2.2.2. Incineración de residuos

La incineración de residuos médicos es un proceso de tratamiento térmico que implica la combustión controlada de residuos peligrosos generados en establecimientos de salud, como materiales infecciosos, residuos anatómicos, objetos punzocortantes y medicamentos caducados. Este método busca reducir el volumen y la peligrosidad de los residuos,

transformándolos en cenizas, gases y calor. (World Health Organization, 2014).

2.2.2.1. desventajas y riesgo ambientales

Según la Organizacion Mundial de la Salud (2024)

- Emisión de contaminantes: Si no se controla adecuadamente, la incineración puede liberar gases tóxicos como dioxinas, furanos y metales pesados, afectando la salud humana y el medio ambiente.
- Generación de cenizas peligrosas: Las cenizas resultantes pueden contener sustancias tóxicas que requieren un manejo y disposición seguros.
- Costo elevado: La instalación y operación de incineradores con tecnología adecuada puede ser costosa.

2.2.2.2. Normativa

2.2.2.2.1. Norma Técnica de Salud NTS N° 144-MINSA/2018/DIGESA

Esta norma establece los lineamientos para la gestión integral y manejo de residuos sólidos en establecimientos de salud. Indica que los residuos peligrosos deben ser tratados adecuadamente antes de su disposición final, y que la incineración debe realizarse en instalaciones autorizadas y con controles ambientales adecuados. (Ministerio de salud, 2018).

2.2.2.2.2. Decreto Legislativo N° 1278 – Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Esta ley establece el marco legal para la gestión de residuos sólidos en el país, promoviendo prácticas que minimicen los impactos negativos en la salud y el ambiente. Aunque no se centra exclusivamente en la incineración, proporciona directrices generales para el manejo adecuado de residuos peligrosos. (Ministerio del medio Ambiente, 2017)

2.3. Definición de términos básicos

- **Biocontaminados:** Son residuos que contienen agentes infecciosos o materiales que pueden causar enfermedades. Incluyen objetos punzocortantes, materiales impregnados con fluidos corporales o muestras biológicas. Su manejo inadecuado puede implicar riesgos significativos para la salud pública (Organización Mundial de la Salud, 2017).
- **Combustión:** Es el proceso químico en el cual una sustancia reacciona rápidamente con el oxígeno, liberando calor y energía en forma de luz o calor. Es una reacción de oxidación fundamental en procesos como la incineración (Sáez y Pérez, 2014).
- **Incineración:** Es un proceso de combustión controlada de residuos sólidos para su reducción volumétrica y eliminación. Consiste en quemar los residuos a altas temperaturas en hornos especialmente diseñados, generando cenizas y gases. Ayuda a minimizar el volumen de residuos peligrosos (EPA, 2020).

- **Metales pesados:** Son elementos químicos con densidad elevada (mayor a 5 g/cm³), como plomo, mercurio, cadmio y arsénico. Son tóxicos incluso en bajas concentraciones y pueden acumularse en organismos vivos, causando efectos adversos en la salud y el ambiente (Tchounwou y otros, 2012).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca generar conocimiento orientado a la solución de un problema ambiental específico relacionado con la gestión y aprovechamiento de cenizas provenientes de la incineración de residuos hospitalarios. Este tipo de estudio permite transformar resultados científicos en alternativas prácticas de valorización, contribuyendo a la reducción de impactos ambientales y a la optimización del manejo de residuos peligrosos. Asimismo, se enfoca en la obtención de evidencia técnica que respalde la toma de decisiones en el ámbito ambiental, promoviendo el uso sostenible de subproductos y el cumplimiento de normativas vigentes.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo–analítico, ya que se orienta a identificar, caracterizar y analizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las cenizas generadas por la incineración de residuos hospitalarios. En una primera etapa, describe detalladamente la composición y comportamiento de las variables de estudio; posteriormente, realiza un análisis comparativo con estándares normativos nacionales e internacionales para determinar su potencial de aprovechamiento. Este nivel permite comprender la problemática desde un enfoque técnico, generando información relevante sobre las condiciones reales del material estudiado y

facilitando la formulación de alternativas de valorización ambientalmente seguras.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que las variables de estudio no fueron manipuladas deliberadamente, sino observadas en su contexto natural. Asimismo, corresponde a un diseño transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un único momento o periodo de tiempo, sin considerar variaciones temporales. Este enfoque permitió analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las cenizas en condiciones reales, sin intervención del investigador, garantizando la objetividad de los resultados y facilitando su comparación con estándares normativos para evaluar su potencial de aprovechamiento.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por la totalidad de las cenizas generadas como subproducto del proceso de incineración de residuos sólidos peligrosos hospitalarios en el horno incinerador del establecimiento de salud EsSalud II de la ciudad de Pucallpa.

3.2.2. Muestra

La muestra fue no probabilística, se tomó a criterio del investigador, siguiendo la metodología de monitoreo de suelos en cantidad y 3 repeticiones. Se tomó 3 muestra representativa de cenizas, recolectadas durante el periodo de estudio, asegurando la obtención de muestras

compuestas para garantizar la representatividad, cada muestra con un peso de 1 kg y esta luego fueron analizada en un laboratorio especializado.

3.2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.2.3.1. Técnicas de recolección de datos

Se observó y documentó de manera sistemática el proceso de incineración de residuos peligrosos hospitalarios en los establecimientos seleccionados. Esta técnica permitió identificar aspectos operativos relevantes, tales como la temperatura alcanzada en los hornos y el tipo de residuos incinerados, aportando información clave para la evaluación del proceso y su desempeño operativo.

3.2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento utilizado fue la ficha de registro, elaborada con base en la Norma Técnica de Salud NTS N.° 144-MINSA/2018/DIGESA, la cual estableció los requisitos mínimos de información. Dicha ficha incluyó datos como el nombre del generador, responsable, fecha, hora y peso de los residuos, permitiendo un registro ordenado y sistemático del proceso. Este instrumento se presentó en el Anexo 2.

Asimismo, para las muestras de ceniza se empleó una cadena de custodia, en la cual se consignó información relacionada con el contenido de la muestra, fecha, hora, lugar de recolección y condiciones de conservación, garantizando la trazabilidad y confiabilidad de las muestras desde el campo hasta el laboratorio. Este documento se incluyó en el Anexo 3.

3.2.3.3. Procedimiento de la investigación

3.2.3.3.1. Determinación de metales totales cenizas

Este se basó en el método de determinación de metales totales por ICP óptico. EPA Method 6020B, Rev.2, 2014/EPA Method 3050B Rev. 2, 1996. (Validado - Aplicado fuera del alcance: B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U,Th) 2020. Una fuente ICP consta de una corriente de gas argón ionizado por un campo de radiofrecuencia aplicado que normalmente oscila a 27,1 MHz. Este campo está acoplado inductivamente al gas ionizado por una bobina enfriada por agua que rodea una “antorcha” de cuarzo que sostiene y confina el plasma. Se genera una muestra de aerosol en un nebulizador y una cámara de pulverización apropiados y se lleva al plasma a través de un tubo inyector ubicado dentro del soplete. El aerosol de muestra se inyecta directamente en el ICP, sometiendo los átomos constituyentes a temperaturas de alrededor de 6000 a 8000°K. Debido a que esto da como resultado una disociación casi completa de las moléculas, se logra una reducción significativa en las interferencias químicas. La alta temperatura del plasma excita eficientemente la emisión atómica. La ionización de un alto porcentaje de átomos produce espectros de emisión iónica. El ICP proporciona una fuente ópticamente "delgada" que no está sujeta a la auto-absorción excepto en concentraciones muy altas. Por lo tanto, se observan rangos dinámicos lineales de cuatro a seis órdenes de magnitud para muchos elementos. La excitación eficiente proporcionada por el ICP da como resultado límites de detección bajos para muchos elementos. Esto, junto con el rango dinámico ampliado, permite la determinación eficaz de metales de múltiples elementos. La luz emitida por

el ICP se enfoca en la rendija de entrada de un monocromador o un policromador que efectúa la dispersión. Se utiliza una rendija de salida alineada con precisión para aislar una porción del espectro de emisión para la medición de intensidad utilizando un tubo fotomultiplicador. ((IDEAM, 2022).

3.2.3.3.2. Determinación de Coliformes Fecales y E.coli

El método de fermentación en tubos múltiples para miembros del grupo coliforme, con determinación simultánea de coliformes termotolerantes y Escherichia coli - SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023. , se basa en el uso de un sustrato fluorogénico específico. La técnica consiste en la inoculación de alícuotas de la muestra de suelo en una serie de tubos que contienen un medio selectivo y diferencial, los cuales se incubaron a temperaturas controladas. La producción de gas y cambios característicos en el medio indicaron la presencia de coliformes totales. Para la identificación de E. coli, se empleó un sustrato fluorogénico que, al ser hidrolizado por la enzima β-glucuronidasa, produjo fluorescencia observable bajo luz ultravioleta, confirmando su presencia. La incubación a temperatura elevada permitió la diferenciación de coliformes termotolerantes. Los resultados se expresaron como el Número Más Probable (NMP) por volumen de muestra, proporcionando una estimación confiable de la contaminación microbiológica del agua (IDEAM, 2022).

3.2.3.3.3. Caracterización de residuos sólidos peligrosos

Siguiendo los lineamientos del Ministerio de salud (2018) la Norma Técnica de Salud NTS N° 144-MINSA/2018/DIGESA. Establece los criterios

para el registro de los residuos sólidos en entidades de salud. El cual requiere ser separado, dispuesto en envolturas especiales, pesado y tratado.

Tabla 1

Clasificación de residuos sólidos hospitalarios

Clase	Tipo	Descripción
A. Residuos Biocontaminados	A.1: Atención al paciente	Residuos generados en la atención directa al paciente, como guantes, gasas, sondas, apósitos, entre otros.
	A.2: Biológicos	Cultivos, inóculos, muestras biológicas, vacunas vencidas, filtros de aire contaminados, etc.
	A.3: Sangre y hemoderivados	Bolsas con sangre humana, suero, plasma, muestras de sangre para análisis, etc.
	A.4: Quirúrgicos y anátomo-patológicos	Tejidos, órganos, piezas anatómicas, restos de fetos, residuos contaminados con sangre.
	A.5: Punzocortantes	Agujas, bisturís, lancetas, pipetas, frascos rotos, objetos de vidrio o metal afilados.
	A.6: Animales contaminados	Cuerpos o partes de animales expuestos a microorganismos

		patógenos, sus lechos o residuos asociados.
B. Residuos Especiales	B.1: Químicos peligrosos	Medicamentos citotóxicos, productos químicos vencidos, pesticidas, solventes, termómetros de mercurio, etc.
	B.2: Farmacéuticos	Medicamentos vencidos, contaminados, no utilizados o deteriorados.
	B.3: Radioactivos	Residuos de laboratorios de investigación, medicina nuclear, material contaminado con radionúclidos.
C. Residuos Comunes		Desechos no peligrosos ni contaminados, como papel, cartón, restos de comida, material de oficina, etc.

3.3. Tratamiento de datos

Los datos obtenidos fueron registrados en fichas de campo y sistematizados en una base de datos para su análisis. Se aplicó estadística descriptiva, calculándose promedios, valores mínimos y máximos para la generación mensual de residuos (biocontaminados, especiales y punzocortantes) y para los parámetros analíticos de cenizas. Para evaluar el

potencial de aprovechamiento, los resultados microbiológicos (NMP/g) y fisicoquímicos (mg/kg MS) se compararon con los criterios de referencia: ECA Suelo (D.S. N.° 011-2017-MINAM), R.M. N.° 0178-2023-MIDAGRI y NTP 334.090-2013, determinándose el cumplimiento o incumplimiento por parámetro y el dictamen final de aprovechamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.2. Aprovechamiento potencial de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025

Tabla 2

Aprovechamiento potencial de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali

Parámetro	Unidad	Promedio	ECA Suelo - DS. -N°011-2017-MINAM			Resolución Ministerial N.° 0178-2023-MIDAGRI	NTP 334.090-2013
			Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo	Fertilizante compuesto	Tipo II – Complemento de Concreto
Coliformes termo tolerantes	NMP/g	0.18				<1000	
Escherichia Coli - Suelos	NMP/g	0.18				<1000	
Aluminio	mg/kg MS	28,384					>31 800
Arsénico	mg/kg MS	2.8	50	50	140	<20	
Bario	mg/kg MS	1,549	750	500	2,000		
Boro	mg/kg MS	15				>200	
Cadmio	mg/kg MS	1.4	1.4	10	22	<1	
Calcio	mg/kg MS	158,372				>10000	<21 300
Cobalto	mg/kg MS	1.6				<5	
Cobre	mg/kg MS	1,303				<500	

Cromo	mg/kg MS	296	**	400	1,000	<100	
Fosforo	mg/kg MS	2,278				>3000	
Hierro	mg/kg MS	5,550				>1000	
Magnesio	mg/kg MS	9,895				>500	
Manganeso	mg/kg MS	104				>50	
Mercurio	mg/kg MS	0.68	6.6	6.6	24	<1	
Molibdeno	mg/kg MS	84				>5	
Niquel	mg/kg MS	78				<60	
Plomo	mg/kg MS	1,223	70	140	800	<150	
Potasio.	mg/kg MS	4,829				>1000	
Silicio	mg/kg MS	1,170					<1410
Zinc	mg/kg MS	8,381				>500	
Condición de aprovechamiento			No aprovechable	No aprovechable	No aprovechable	No aprovechable	Aprovechable

En Tabla 2, se aprecia la comparación para el aprovechamiento potencial directo de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, como primera comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos del DS. N° 011-2017-MINA, si esta ceniza se aplicaría a un suelo agrícola este incumpliría con los límites de Bario y Plomo, seguido como material de relleno para suelos residenciales o parques este incumpliría los límites de Bario y Plomo, de la misma manera como material de relleno para suelos comerciales, industriales y extractivos es incumplirá los límites de plomo, por lo que su aplicación directa a suelos no es un uso potencial para las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios. Ahora si este es aplicado como un fertilizante compuesto según la normativa Resolución Ministerial N.° 0178-2023-MIDAGRI del Reglamento de Fertilizantes y Sustancias Afines, este incumpliría los parámetros del contenido de Cadmio, Cobre, Cromo y Plomo, así mismo no cumple con la cantidad mínima de Fosforo, lo que se reduce su uso como fertilizante compuesto, pero cabe

resaltar que este no presenta Microorganismo patógenos como Coliformes termo tolerante y E.Coli, lo que extiende la posibilidad de usos. Ahora si este compara con la NTP 334.090-2013, materia de aglomeración Tipo II – Complemento de Concreto (Arenas fina), este cumple con las condiciones mínimas recomendad de composición química, siendo factible su aprovechamiento como material de complemento, pero esta tendría que pasar por un proceso de pre acondicionamiento, ya que las arenas finas se componen de materiales de hasta 1.1 mm.

La producción de cenizas, ha aumentado, lo que ha impulsado la necesidad de encontrar alternativas respetuosas con el medio ambiente para sus procesos al final de su vida útil, alternativas de valorización mediante su incorporación en materiales de construcción (mortero y hormigón) o la mejora del suelo (Tamíris y otros, 2022). De forma similar Ruiz y y otros (2020) en su estudio análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto, lo utilizan como material constituyente para el concreto. También Huaquisto y Belizario (2018) utiliza la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. Angaspilco y otros (2021) utiliza las cenizas de carbón para mejorar la resistencia a la compresión del concreto. Gonzales at al. (2024) evaluó la influencia de la Ceniza de Subproductos-Agroindustriales como sustituto parcial del cemento en las Propiedades Mecanicas y Microestructurales del concreto. Yáñez (2019) aplico la tecnología de mejoramiento de la ceniza volante con altos contenidos de carbón y sus beneficios al utilizar ceniza mejorada como adición al cemento portland Material de refuerzo. Rúa y otros (2023) evaluó la producción de hormigón verde a partir de ceniza de cascarilla de

arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento. Como se puede ver el uso de la ceniza como constituyente o refuerzo de materiales aglomerantes como cemento o concretos, se está volviendo tendencia como el llamado concreto verde o ecológico. Si bien se producen anualmente cantidades significativas de estas cenizas en todo el mundo, menos del 30 % se reutiliza. Las cenizas de carbón se reutilizan principalmente en aplicaciones de ingeniería civil, como la construcción de carreteras, terraplenes, materiales de construcción, aplicaciones de geopolímeros y la producción de cemento (Jayaranjan y otros, 2014).

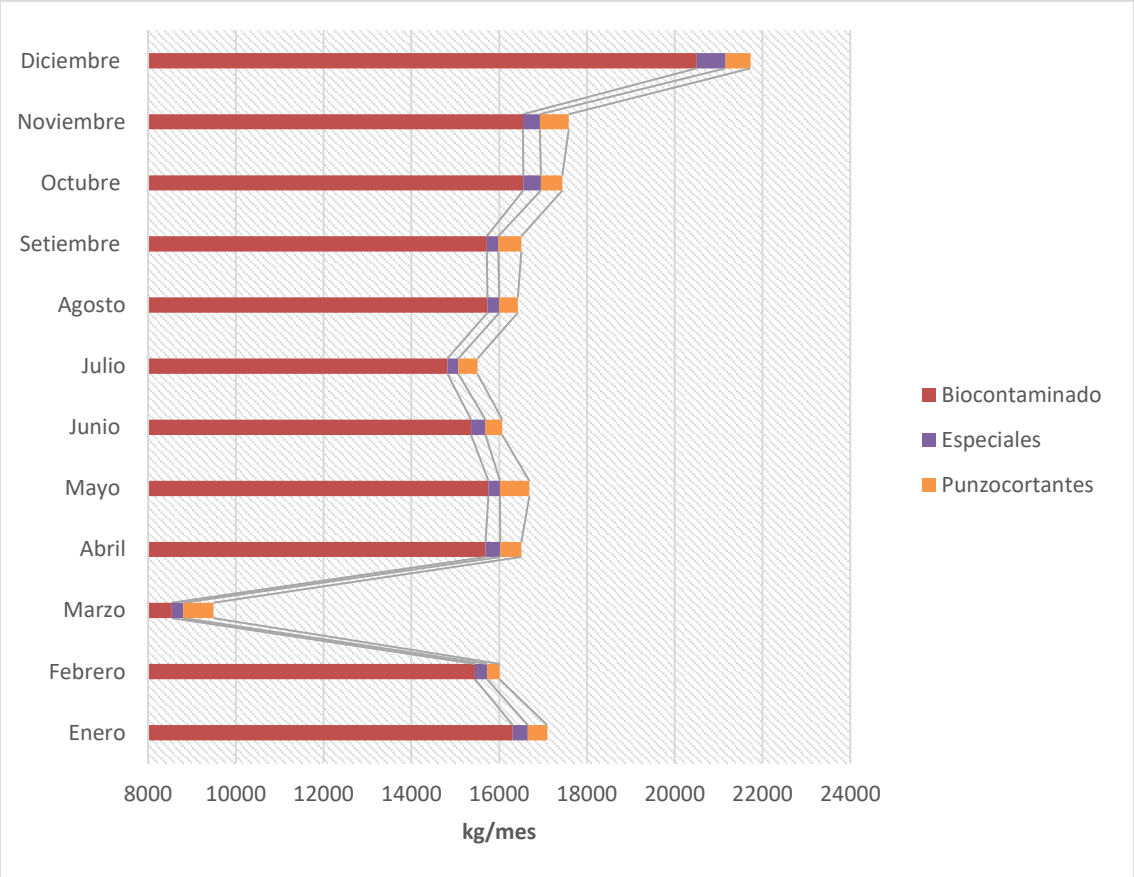
Otros usos como el que le da Vilakazi y otros(2022) que propone el uso de las cenizas como material adsorbente utilizado en los procesos de purificacion de aguas residuales. Ferreira y Benítez (2022), utilizaron la cenizas y otros compuestso para generar materiales filtrantes para aguas de mineria. Sialer (2024),utilizo la ceniza de casacarilla de arroz junto a la moringa para reducir la turbiedad y obtener agua potable.

Quirantes (2015), por la combustión empleado para la valorización energética de la biomasa genera grandes cantidades de cenizas, pueden ser utilizadas como enmiendas calizas para corregir el pH de suelos ácidos, su elevado contenidos de algunos nutrientes, permite que puedan ser utilizadas como fertilizantes, aunque su aplicación a los suelos agrícolas, debería ir acompañada de un suplemento nitrogenado, debido al escaso contenido de N de las cenizas volantes. Como se puede ver en los antecedente, el uso de la cenizas se esta volviendo de valor util, gracias a su grandes cantidades producidad y ademas su variableutilida.

4.3. Características de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados

Figura 1

Característica de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios generados anualmente

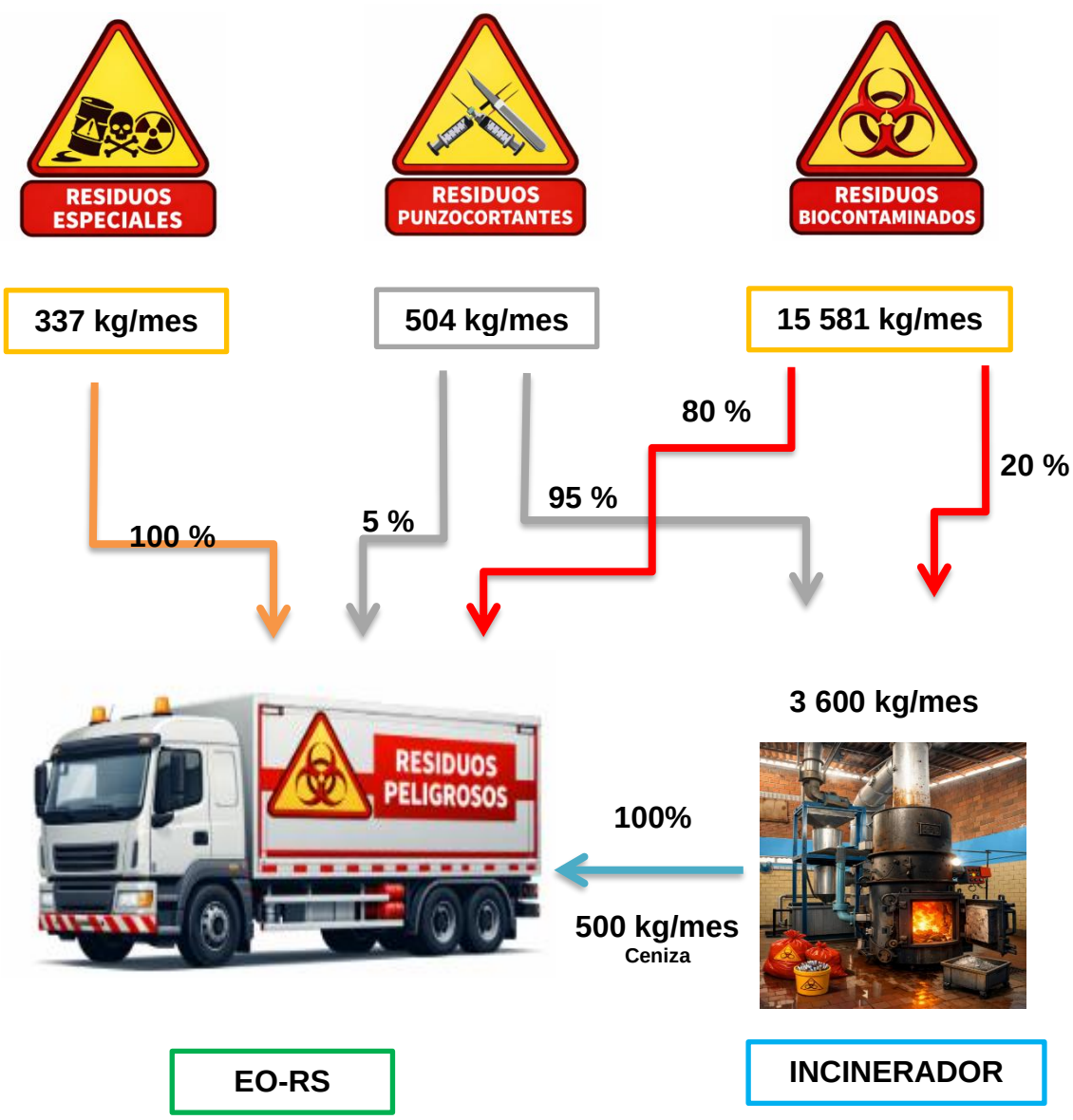


En la figura 1, se aprecia las Característica de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios generados anualmente, los residuos Biocontaminados, se registró un promedio anual de 15 580,75 kg/mes, evidenciando una generación relativamente constante a lo largo del año, el valor mínimo se presentó en marzo 8 541 kg/mes, mientras que el máximo se observó en diciembre de 20 500 kg/mes, lo que indica un incremento significativo al cierre del periodo anual. Para los residuos especiales, el promedio anual fue de 336,83

kg/mes, el mínimo se registró en julio con 251 kg/mes y el máximo en diciembre con 660 kg/mes, mostrando una tendencia creciente hacia los últimos meses del año. Respecto a los residuos punzocortantes, se obtuvo un promedio anual de 503,67 kg/mes, el valor mínimo correspondió a febrero con 282 kg/mes, mientras que el máximo se registró en marzo de 682 kg/mes, reflejando variaciones mensuales asociadas a la intensidad de los procedimientos clínicos.

Figura 2

Flujo de gestión de los Residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



La figura 2 muestra el flujo de gestión de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios destinados al proceso de incineración. Los residuos biocontaminados constituyen la mayor fracción, con un promedio de 15 581 kg/mes, de los cuales aproximadamente el 80 % es transportado por la EORS, mientras que el 20 % restante son incinerados siendo prioritarios los restos anatómicos. Los residuos punzocortantes presentan una generación promedio de 504 kg/mes, destinándose el 95 % al sistema de incineración y un 5 % es transportado por la EORS. Por su parte, los residuos especiales alcanzan un promedio de 337 kg/mes, siendo el 100 % conducido directamente es transportado por la EORS. El transporte de estos residuos se realiza mediante unidades autorizadas (EO-RS), las cuales trasladan el total de los residuos destinados a incineración. Como resultado del proceso de incineración, se generan aproximadamente 500 kg/mes de cenizas, evidenciando la reducción volumétrica y másica lograda mediante la incineración como método de tratamiento final.

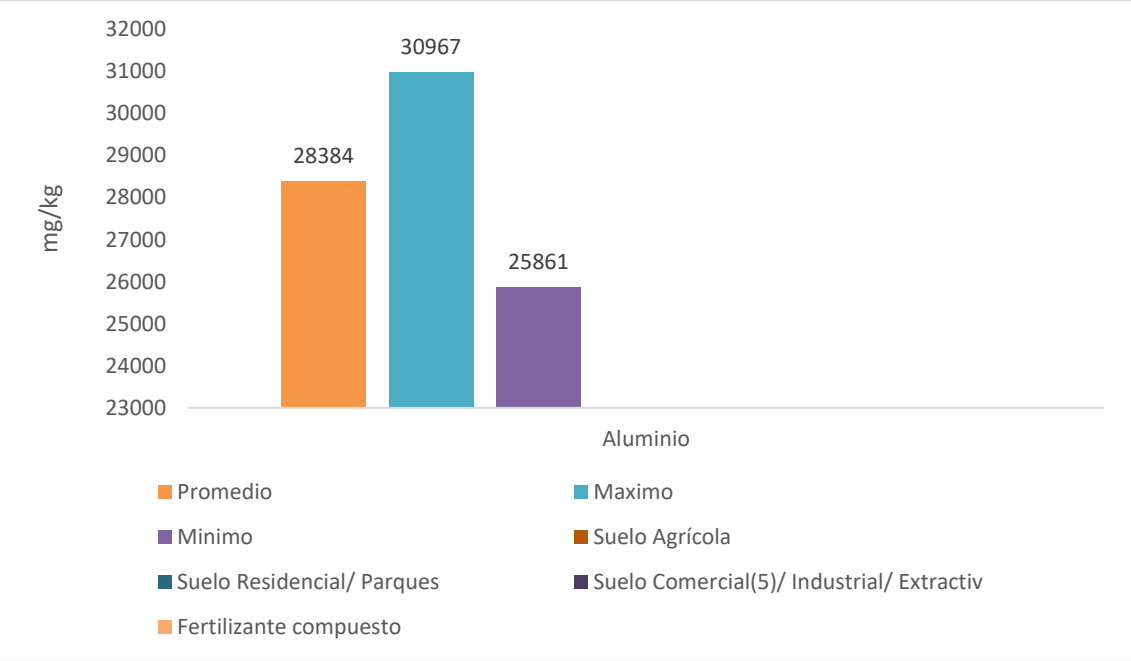
Se evidenció que la mayor proporción de residuos generados corresponde a la categoría de residuos biocontaminados, resultado que es coherente con lo reportado en investigaciones previas desarrolladas en contextos hospitalarios similares. Al respecto, Cruz (2023), al evaluar los riesgos ambientales asociados al manejo de residuos sólidos hospitalarios, identificó que el 74,25 % del total de residuos correspondía a residuos biocontaminados, seguidos por los residuos comunes y especiales, lo que confirma la elevada carga de este tipo de desechos en los establecimientos de salud. De manera concordante, Pastor (2022) determinó una generación promedio de 221,48 kg/día de residuos hospitalarios,

con un claro predominio de los residuos biocontaminados (185,92 kg/día) frente a los residuos comunes (53,87 kg/día), evidenciando que las actividades asistenciales son la principal fuente de generación de residuos peligrosos. Asimismo, Condezo (2022), en su estudio sobre la caracterización de los residuos sólidos hospitalarios generados durante la atención de pacientes con COVID-19 en el Hospital Dr. Daniel Alcides Carrión García de Yanacancha, reportó que el 63 % de los residuos correspondía a la clase biocontaminada, incluyendo residuos de atención directa al paciente y punzocortantes, mientras que el 37 % restante fue clasificado como residuos comunes. En conjunto, estos antecedentes refuerzan los hallazgos del presente estudio y evidencian una tendencia sostenida hacia la predominancia de residuos biocontaminados en los servicios de salud, lo que subraya la necesidad de fortalecer las estrategias de segregación, manejo y tratamiento adecuado de este tipo de residuos para reducir riesgos ambientales y sanitarios.

4.4. Determinación del contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados

Figura 3

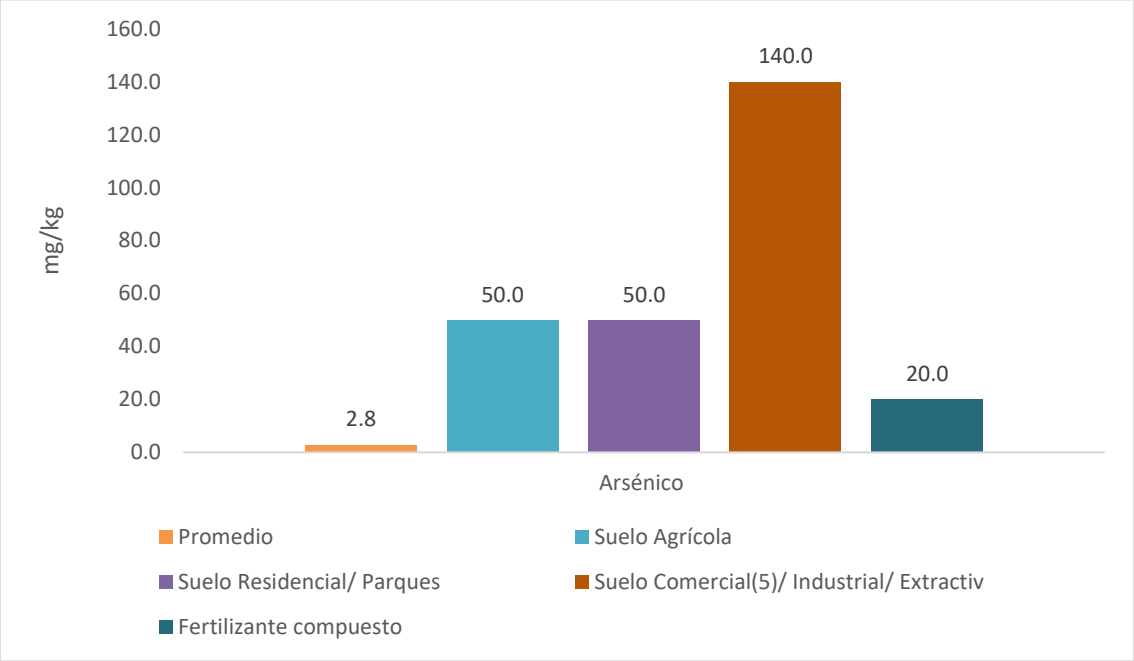
Determinación del contenido de Aluminio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 3, se aprecia la determinación del contenido de Aluminio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 28 384 mg/kg de Aluminio en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos este no presenta un límite establecido, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este no presenta un límite establecido.

Figura 4

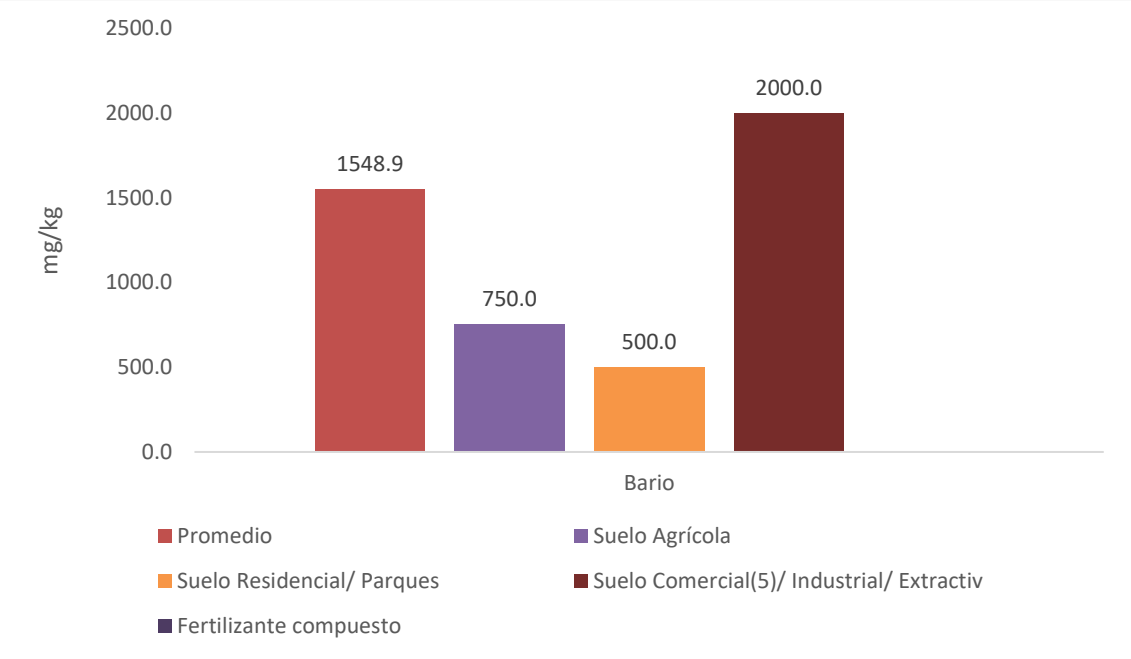
Determinación del contenido de Arsénico en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 4, se aprecia la determinación del contenido de Arsénico en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 2.8 mg/kg de Arsénico en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos cumple con el límite para suelos agrícola, cumple con el límite para suelos Residenciales / Parques y cumple con el límite para suelos Comerciales, industriales o extractivos, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 20 mg/kg el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 5

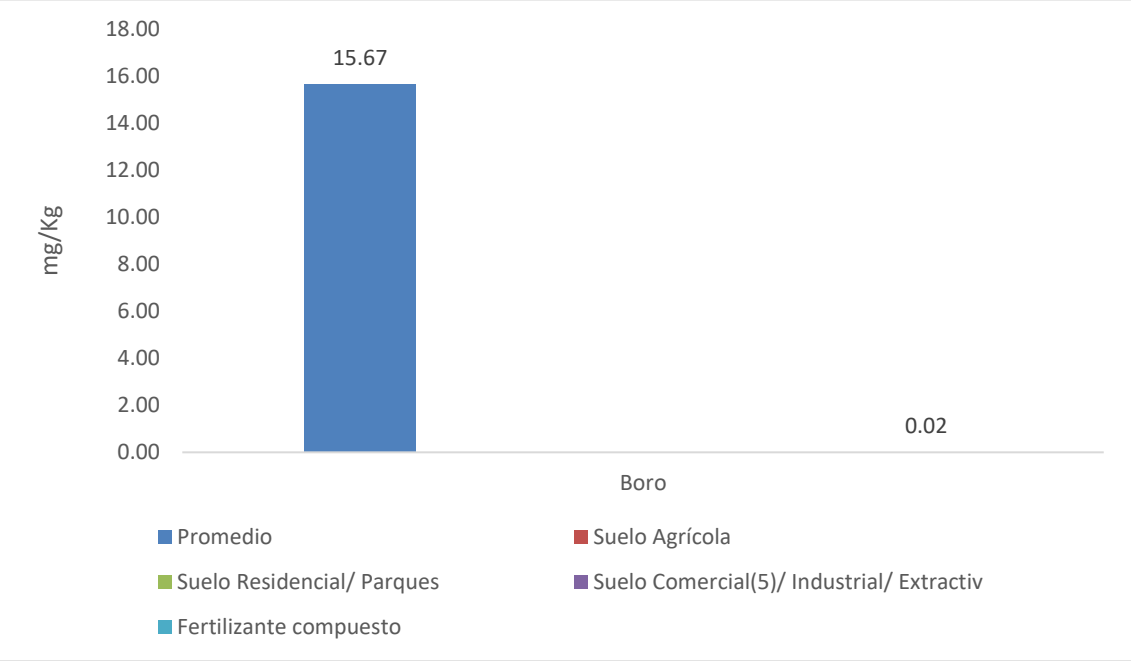
Determinación del contenido de Bario en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 5, se aprecia la determinación del contenido de Bario en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 1548.9 mg/kg de Bario en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no cumple con el límite para suelos agrícola, no cumple con el límite para suelos Residenciales / Parques y cumple con el límite para suelos Comerciales, industriales o extractivos, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este no presenta un límite máximo.

Figura 6

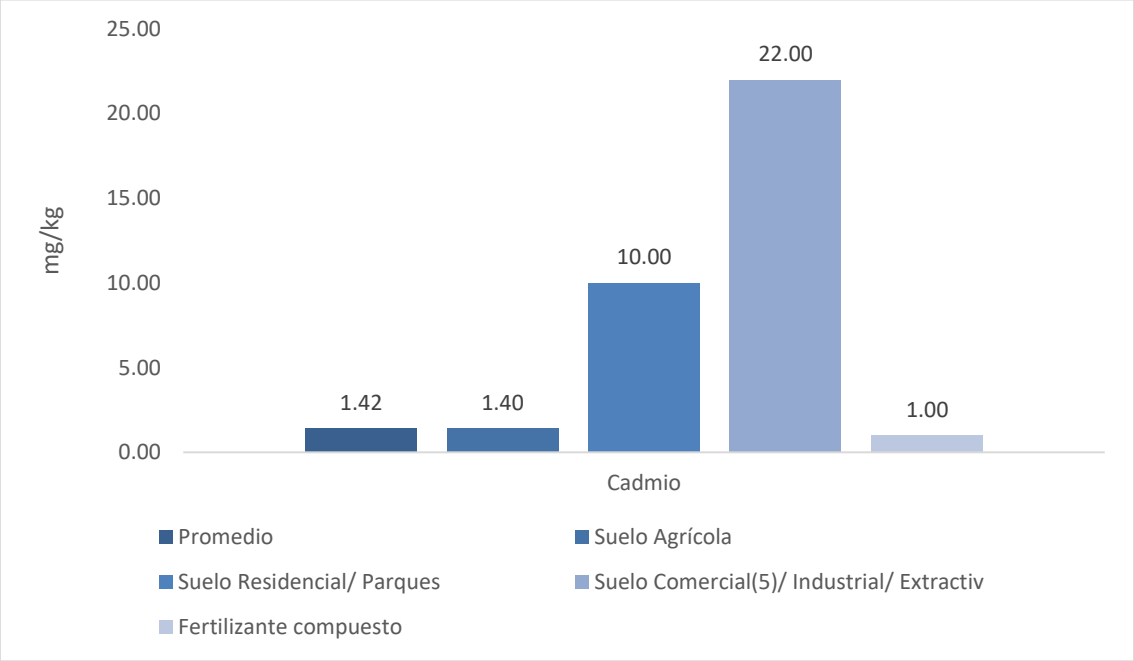
Determinación del contenido de Boro en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 6, se aprecia la determinación del contenido de Boro en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 15.67 mg/kg de Boro en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 200 mg/kg el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 7

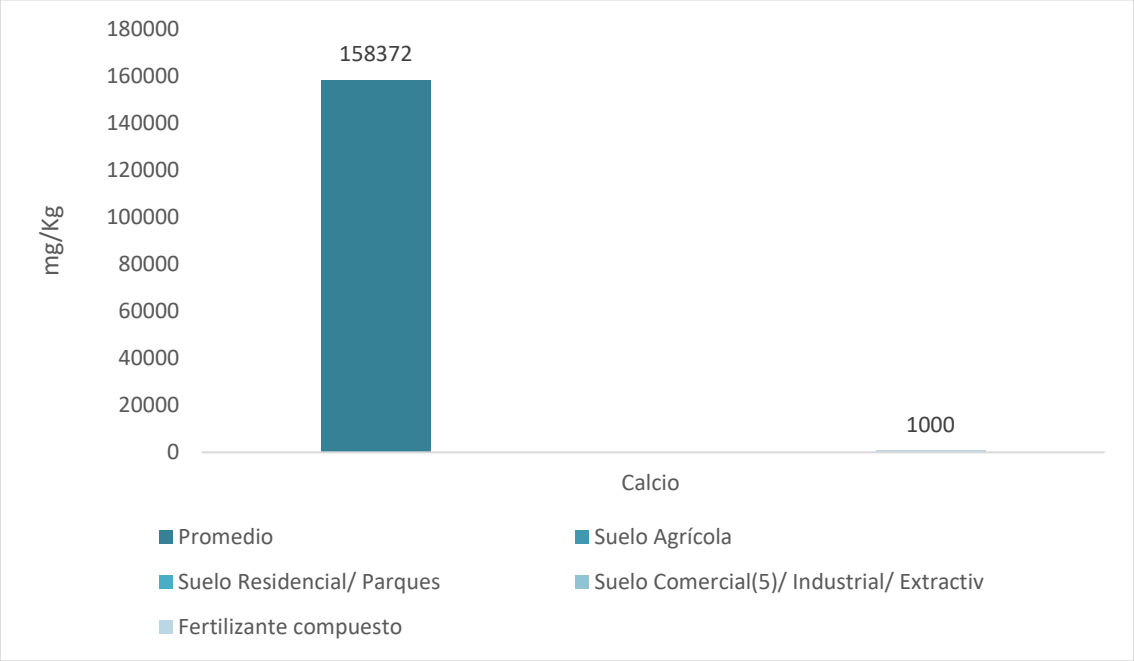
Determinación del contenido de Cadmio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 7, se aprecia la determinación del contenido de Cadmio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 1.42 mg/kg de Cadmio en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos cumple con el límite para suelos agrícola, cumple con el límite para suelos Residenciales / Parques y cumple con el límite para suelos Comerciales, industriales o extractivos, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 1 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 8

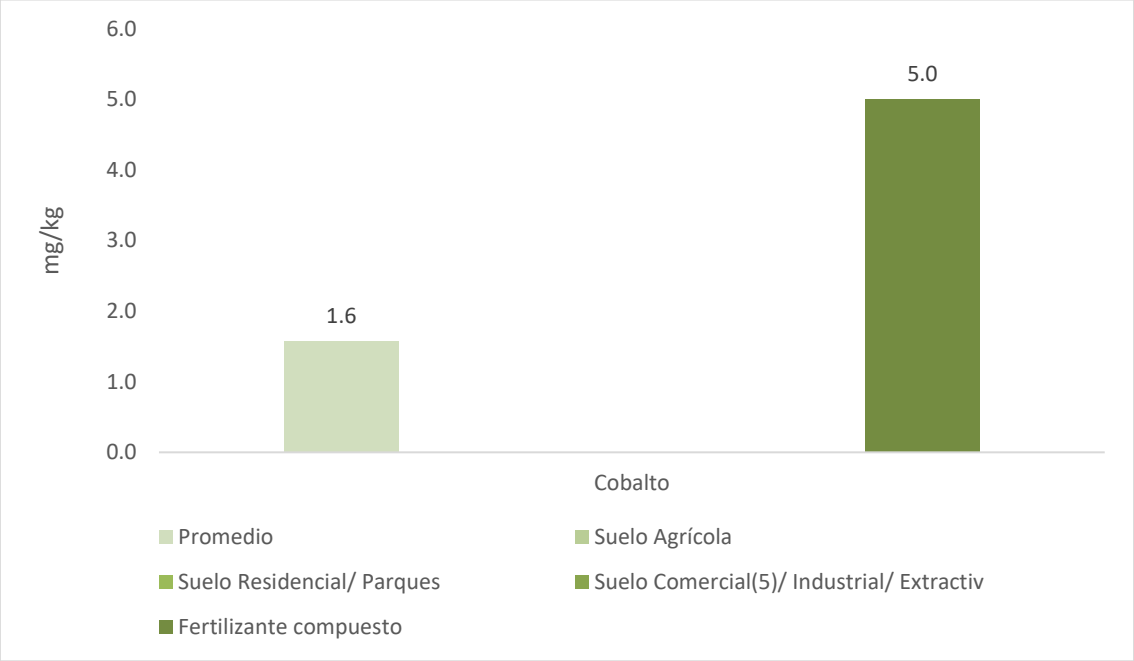
Determinación del contenido de Calcio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 8, se aprecia la determinación del contenido de Calcio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 158 372 mg/kg de Calcio en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 10000 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 9

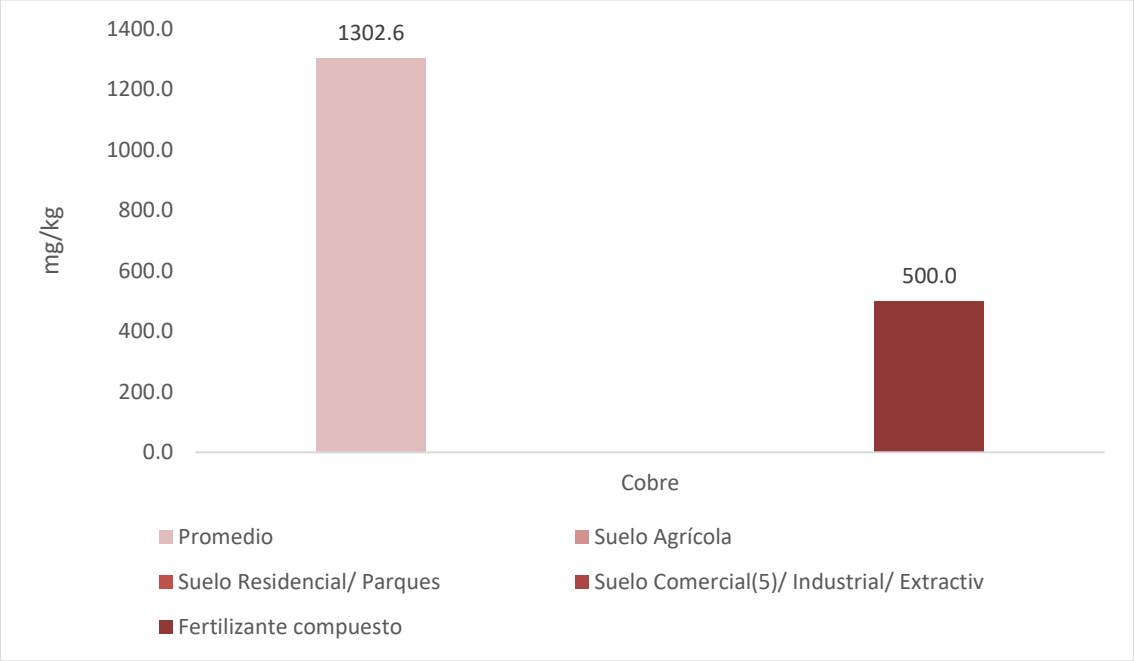
Determinación del contenido de Cobalto en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 9, se aprecia la determinación del contenido de Cobalto en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 1.6 mg/kg de Cobalto en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 5 mg/kg el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 10

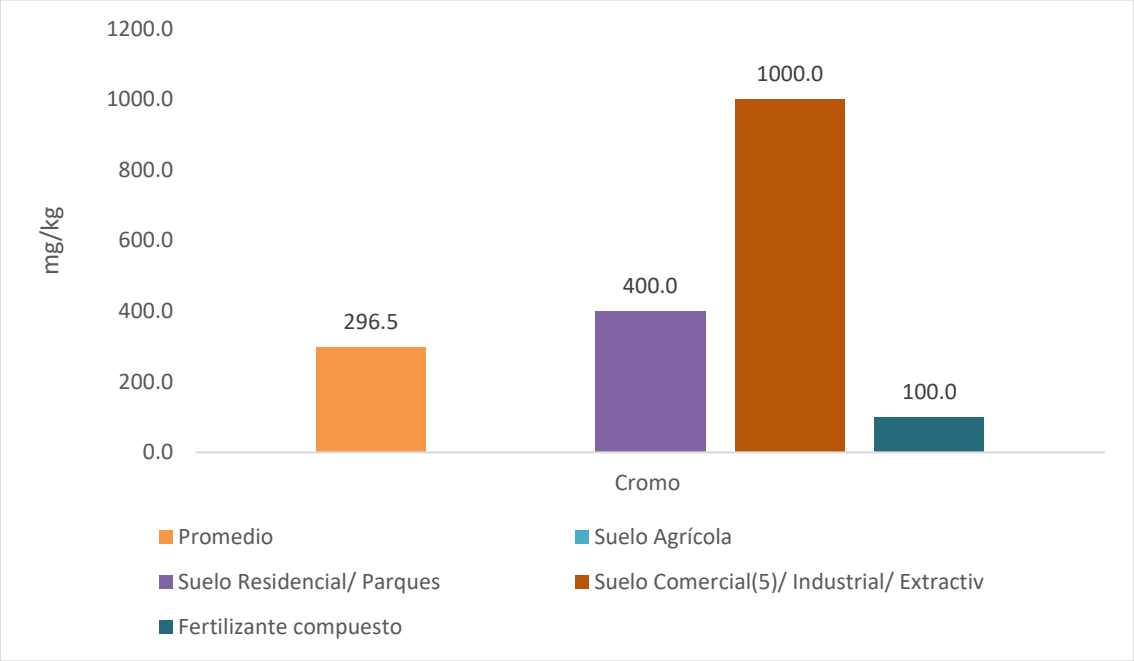
Determinación del contenido de Cobre en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 10, se aprecia la determinación del contenido de Cobre en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 1302.6 mg/kg de Cobre en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 500 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 11

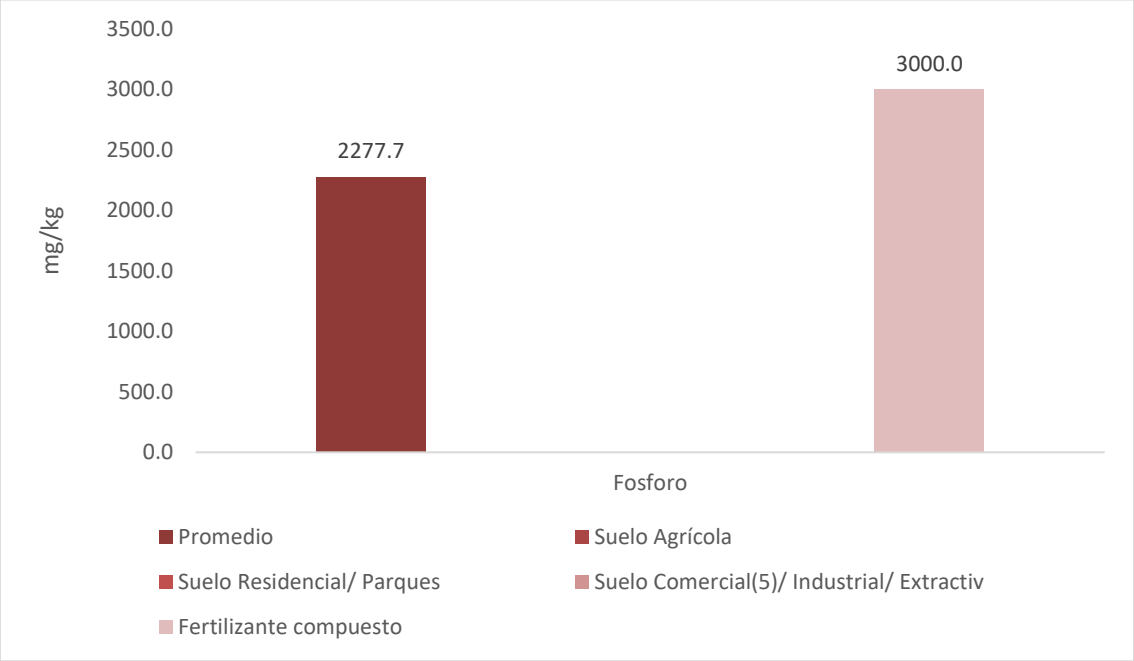
Determinación del contenido de Cromo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 11, se aprecia la determinación del contenido de Cromo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 296.5 mg/kg de Cromo en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite para suelos agrícola, cumple con el límite para suelos Residenciales / Parques y cumple con el límite para suelos Comerciales, industriales o extractivos, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 100 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 12

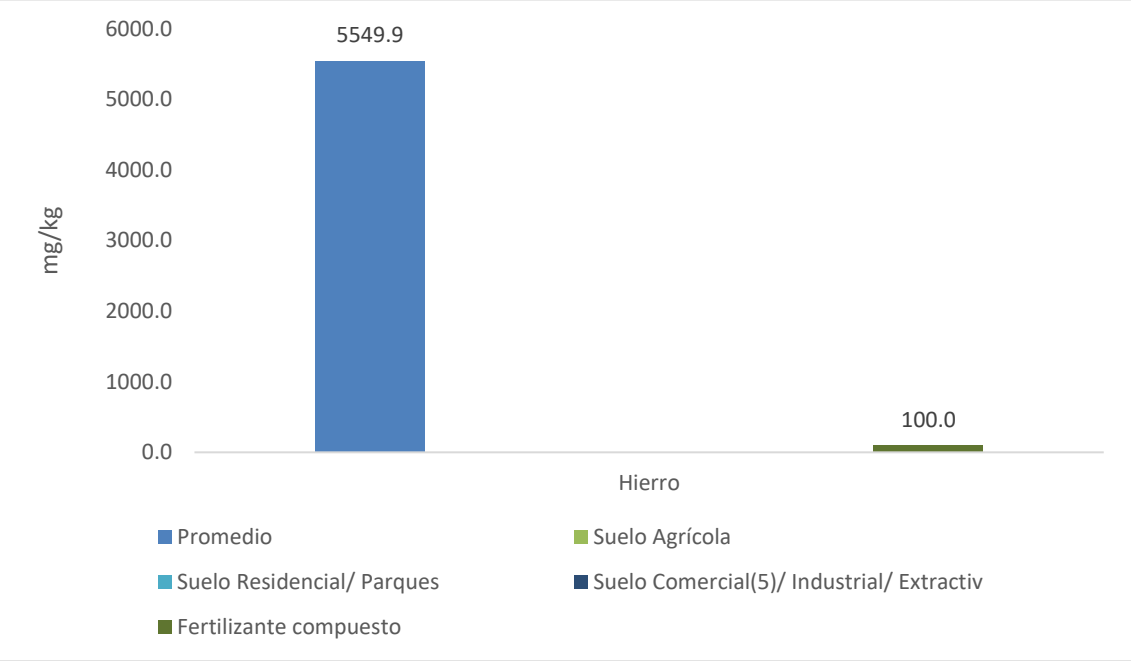
Determinación del contenido de Fosforo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 12, se aprecia la determinación del contenido de Fosforo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 2277.7 mg/kg de Fosforo en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 3000 mg/kg el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 13

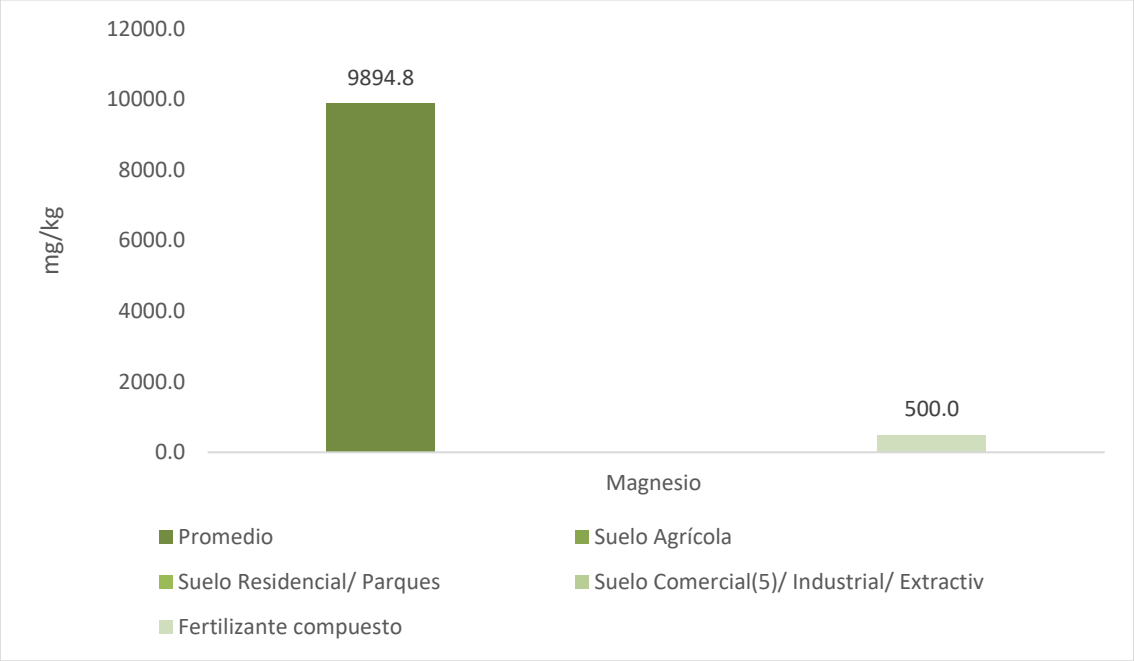
Determinación del contenido de Hierro en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 13, se aprecia la determinación del contenido de Hierro en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 5549.9 mg/kg de Hierro en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 100 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 14

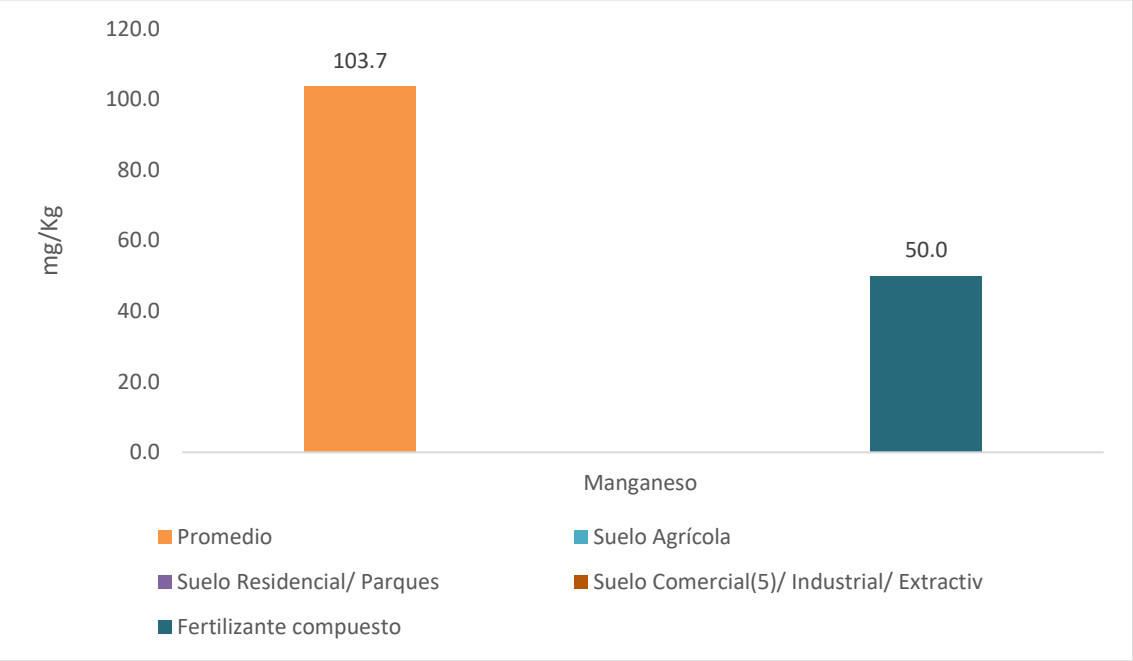
Determinación del contenido de Magnesio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 14, se aprecia la determinación del contenido de Magnesio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 9894.8 mg/kg de Magnesio en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 500 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 15

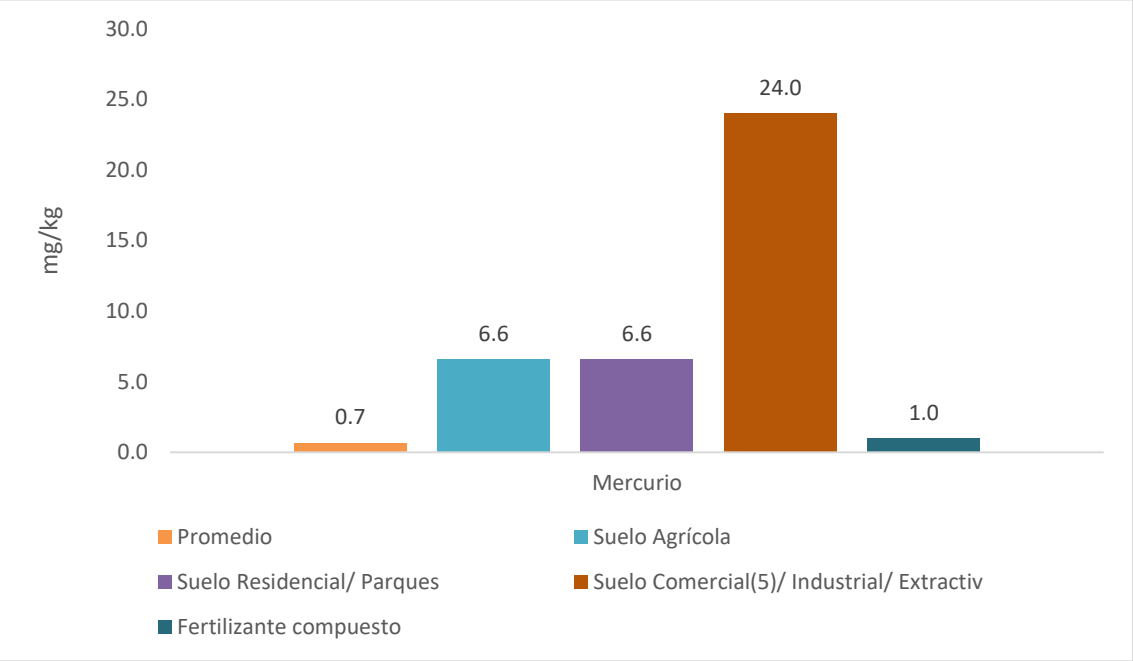
Determinación del contenido de Manganeso en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 15, se aprecia la determinación del contenido de Manganeso en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 103.7 mg/kg de Manganeso en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 50 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 16

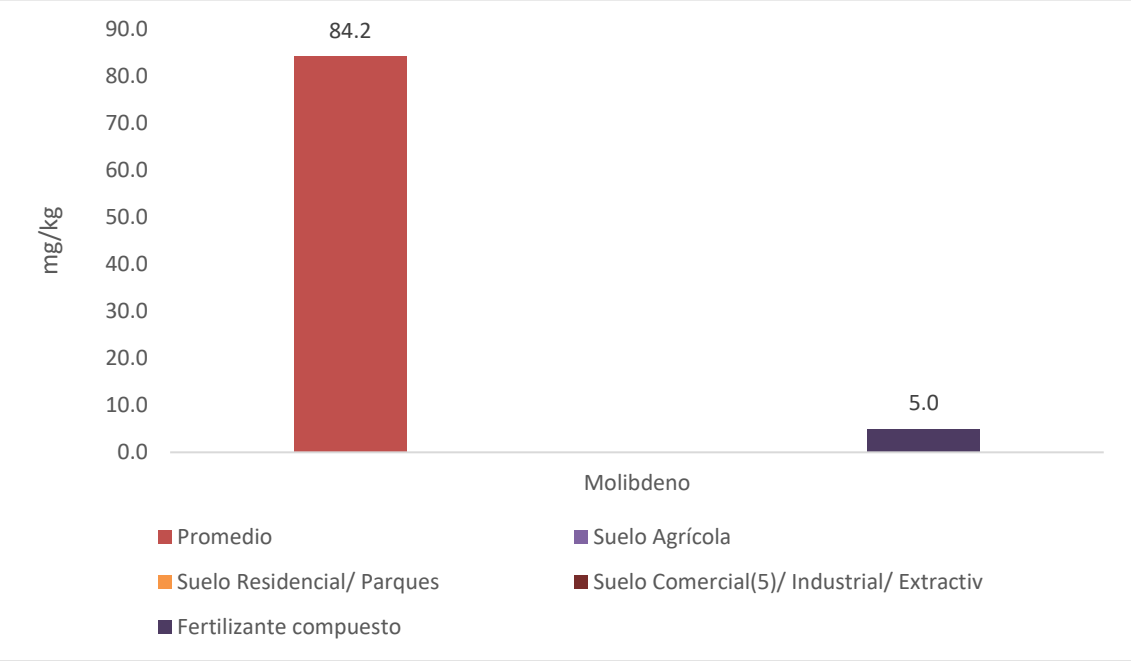
Determinación del contenido de Mercurio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 16, se aprecia la determinación del contenido de Mercurio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 0.7 mg/kg de Mercurio en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos cumple con el límite para suelos agrícola, cumple con el límite para suelos Residenciales / Parques y cumple con el límite para suelos Comerciales, industriales o extractivos, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 1 mg/kg el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 17

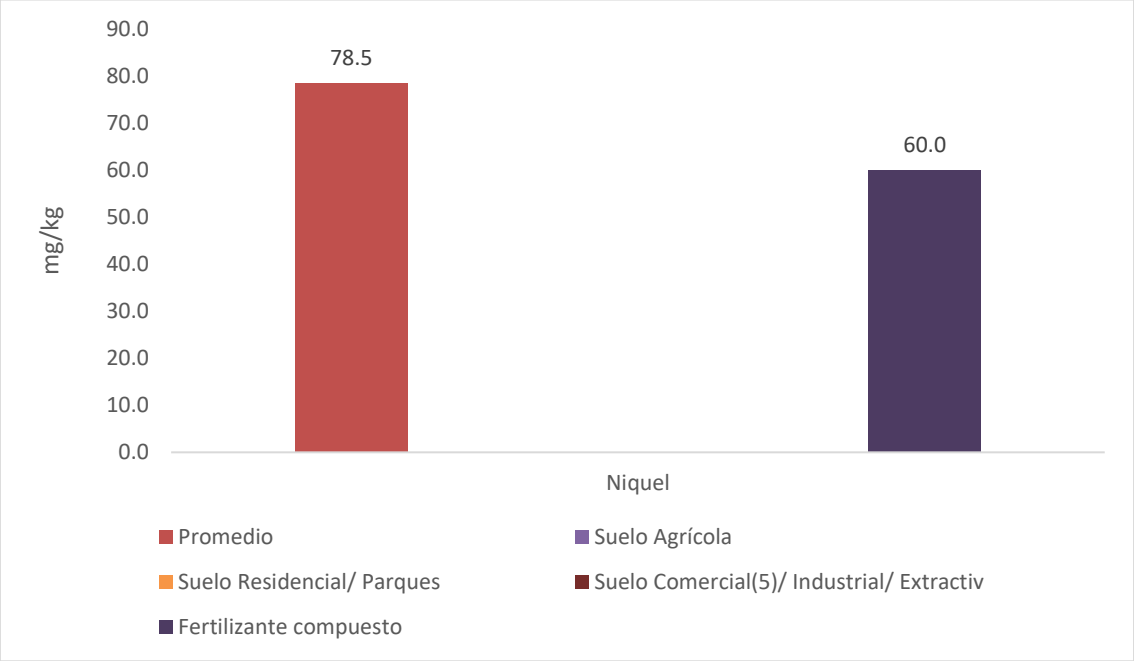
Determinación del contenido de Molibdeno en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 17, se aprecia la determinación del contenido de Molibdeno en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 84.2 mg/kg de Molibdeno en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 5 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 18

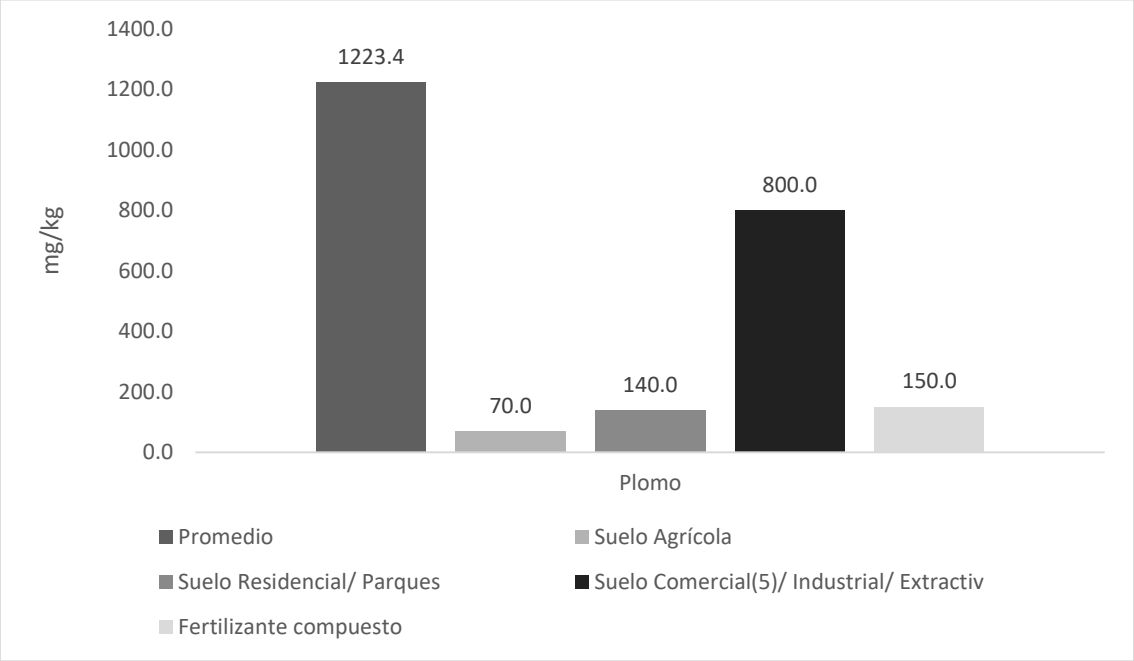
Determinación del contenido de Níquel en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 18, se aprecia la determinación del contenido de Níquel en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 78.5 mg/kg de Níquel en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 60 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 19

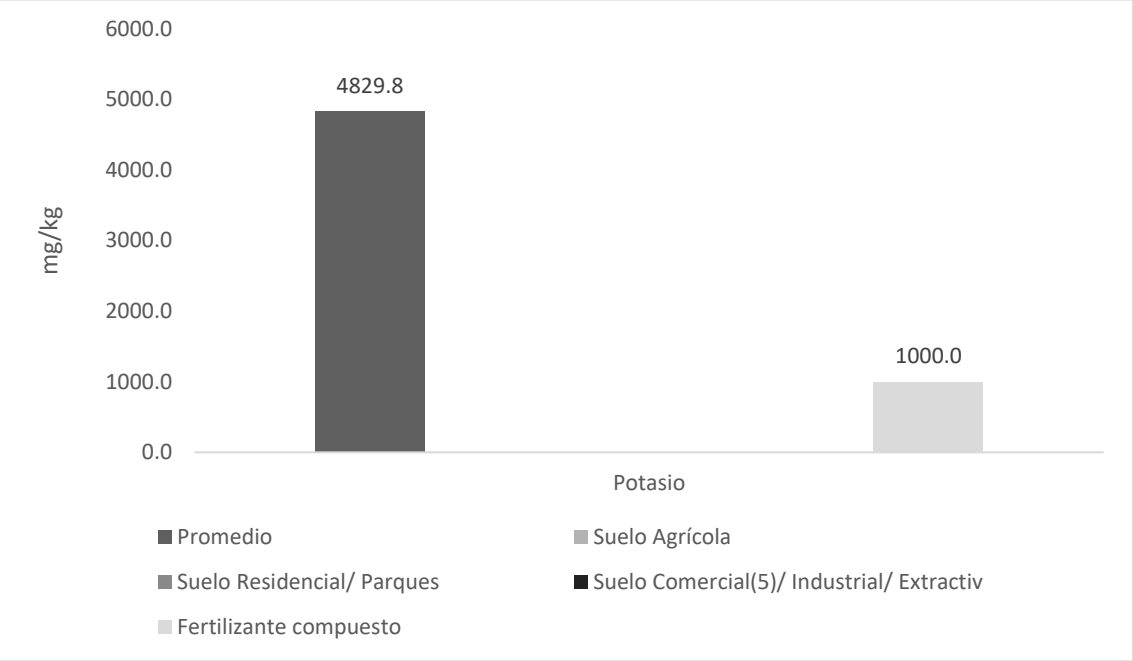
Determinación del contenido de Plomo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 19, se aprecia la determinación del contenido de Plomo en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 1223.4 mg/kg de Plomo en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no cumple con el límite para suelos agrícola, no cumple con el límite para suelos Residenciales / Parques y no cumple con el límite para suelos Comerciales, industriales o extractivos, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 150 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 20

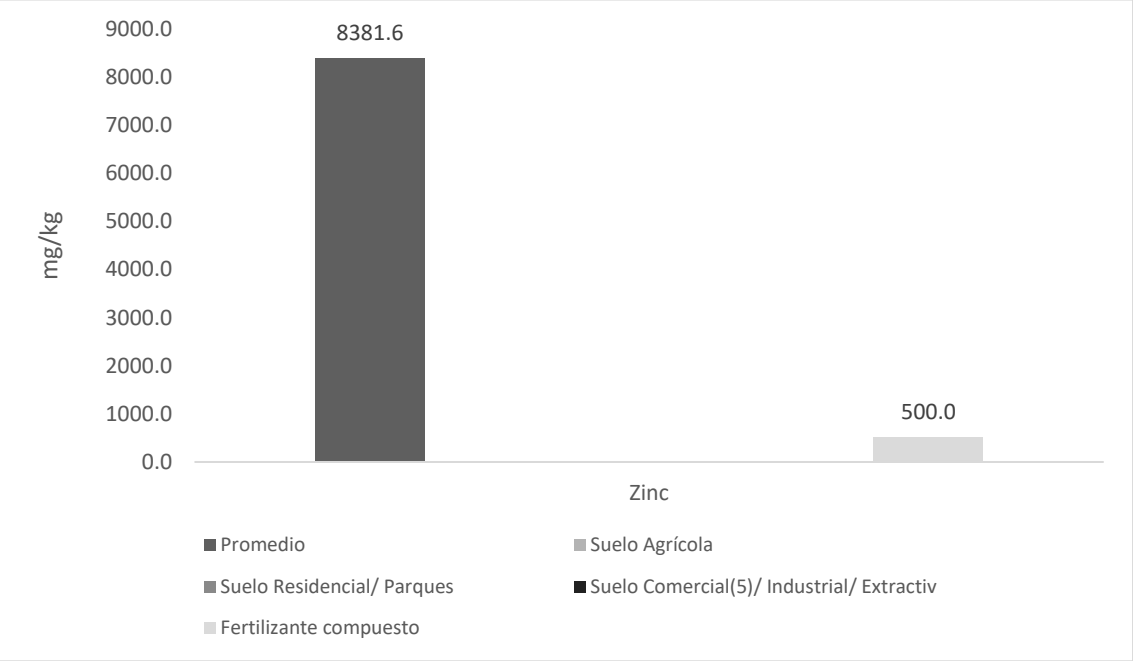
Determinación del contenido de Potasio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 20, se aprecia la determinación del contenido de Potasio en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 4829.8 mg/kg de Potasio en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 1000 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 21

Determinación del contenido de Zinc en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados



En la figura 21, se aprecia la determinación del contenido de Zinc en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentándose como resultado promedio 8381.6 mg/kg de Zinc en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos no presenta límite, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite mínimo de 500 mg/kg el cual es superado por el contenido en las cenizas.

Los resultados del presente estudio evidencian que las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios presentan una composición química compleja, caracterizada por la presencia de metales pesados, macroelementos, lo cual es consistente con lo reportado en la literatura

internacional. Este comportamiento ha sido señalado en diversos estudios como una ventaja sanitaria clave de la incineración de residuos hospitalarios. En relación con el contenido metálico, se observó una alta concentración de elementos como calcio (158 372 mg/kg MS), hierro (5 550 mg/kg MS), magnesio (9 895 mg/kg MS), potasio (4 829 mg/kg MS) y silicio (1 170 mg/kg MS), los cuales suelen asociarse a la fracción mineral de los residuos y a la combustión de materiales como plásticos, textiles, papel, material médico descartable y restos orgánicos. Yang y otros (2025) reportan resultados similares, destacando la presencia de Fe, Ba, Cu, Sr y As en cenizas de incineración, lo que refuerza la influencia del tipo de residuo tratado sobre la composición final de las cenizas.

Asimismo, las concentraciones de metales pesados como zinc (8 381 mg/kg MS), cobre (1 303 mg/kg MS), cromo (296 mg/kg MS), níquel (78 mg/kg MS), plomo (1 223 mg/kg MS), cadmio (1,4 mg/kg MS) y mercurio (0,68 mg/kg MS) concuerdan con lo señalado por Valizade y otros (2024), quienes identificaron elevados porcentajes de Zn, Cu y Cr en cenizas de incineradoras, atribuidos principalmente a la combustión de materiales metálicos, equipos médicos, pigmentos, baterías y plásticos aditivados. De manera similar, Alhameed y otros (2023) resaltan que Cu, Pb, Zn, Cd y Ni son metales recurrentes en cenizas de incineradores de residuos hospitalarios, lo que confirma su persistencia tras el proceso térmico.

Los valores elevados de zinc y hierro coinciden con lo reportado por Kofi y Pimenta (2023) en cenizas de fondo provenientes de incineradores de residuos biomédicos en Ghana, donde estos elementos fueron dominantes debido a su estabilidad térmica y afinidad por la fase sólida. Beikmohammadi y otros (2023) también señalan que metales como Zn, Cu, Pb, Cr y Ni tienden a concentrarse

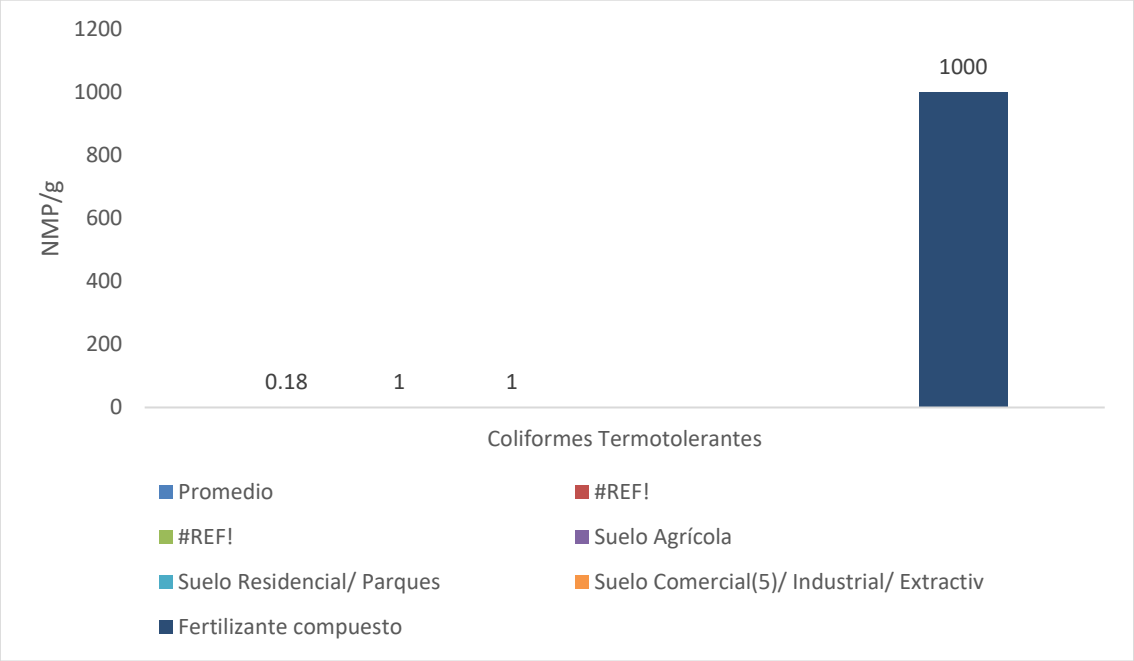
en las cenizas de fondo, lo que explica su acumulación en los resultados obtenidos. Adicionalmente, Mohammad y otros (2024) reportaron concentraciones totales de metales pesados entre 19 513 y 23 972 µg/g, con una composición dominada por Zn, Cu y Cr, valores comparables con los observados en este estudio.

En conjunto, los resultados confirman que las cenizas de incineración de residuos hospitalarios constituyen un residuo con potencial riesgo ambiental debido a su contenido de metales pesados, lo que justifica la necesidad de una adecuada caracterización, manejo y disposición final controlada, así como la evaluación de alternativas de estabilización o valorización bajo criterios técnicos y normativos.

4.5. Determinación de la presencia de contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados

Figura 22

Determinación de la presencia de Coliformes Termo tolerantes en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados

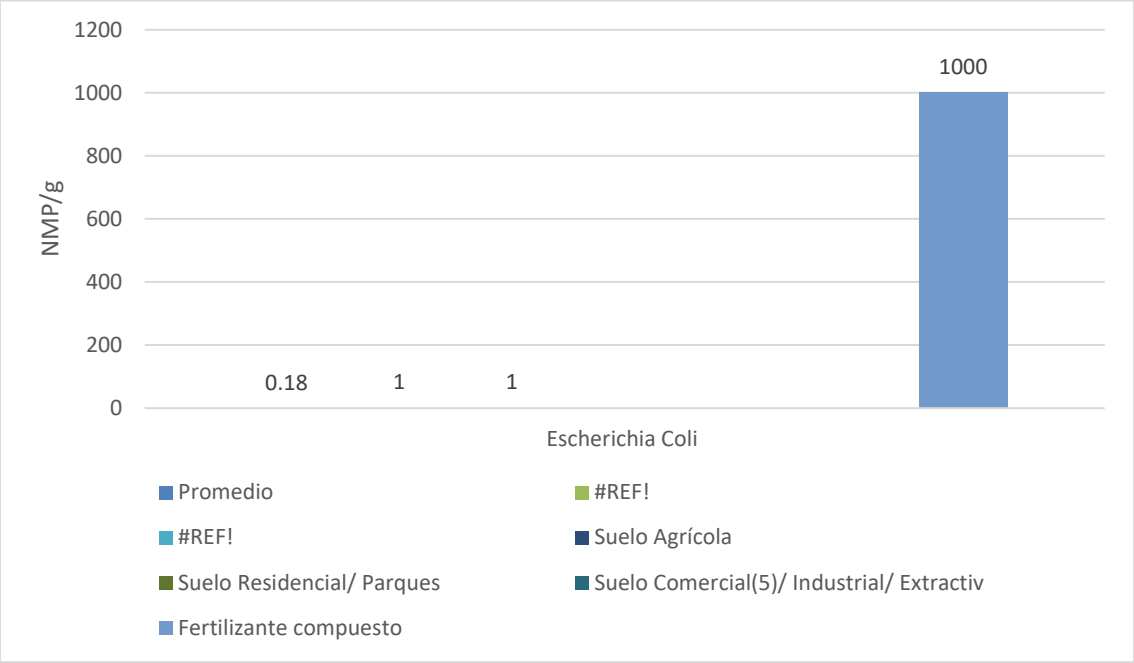


En la figura 22, se aprecia la determinación de la presencia de Coliformes Termo tolerantes en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados, presentándose como resultado que no existe presencia de Coliformes Termo tolerantes en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos este no presenta un límite no establecido, al ser comparado con los valores del

reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 1000 NMP/g el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

Figura 23

Determinación de la presencia de Escherichia Coli en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados



En la figura 23, se aprecia la determinación de la presencia de Escherichia Coli en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados, presentándose como resultado que no existe presencia de Escherichia Coli en las cenizas, siendo estos resultados comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos este no presenta un límite no establecido, al ser comparado con los valores del reglamento de fertilizantes y sustancias a afines este presenta un límite máximo de 1000 NMP/g el cual no es superado por el contenido en las cenizas.

La detección de coliformes termotolerantes y Escherichia coli en valores promedio de 0,18 NMP/g confirma la eficacia del proceso de incineración como método de inactivación microbiológica, ya que las altas temperaturas alcanzadas durante el tratamiento térmico reducen significativamente la viabilidad de microorganismos patógenos. En la fracción microbiológica, nuestros resultados muestran valores muy bajos de coliformes termotolerantes (0,18 NMP/g) y Escherichia coli (0,18 NMP/g), lo que sugiere que, tras el proceso de incineración, la ceniza presenta una carga biológica residual mínima. Este comportamiento es esperable, ya que la incineración se reconoce como una tecnología de tratamiento térmico orientada, entre otros objetivos, a la inactivación de patógenos y a la reducción del riesgo sanitario asociado a los residuos hospitalarios. En una revisión reciente sobre gestión de residuos médicos, se destaca que los tratamientos térmicos (incluida la incineración dentro del paquete tecnológico dominante) alcanzan altos niveles de eliminación de patógenos, por encima del 99,99% en condiciones adecuadas de operación, reforzando la interpretación de que la ceniza tiende a comportarse como un material microbiológicamente poco activo (Hossein y otros, 2025).

De forma concordante, literatura subraya que la incineración, si se ejecuta correctamente, elimina eficazmente microorganismos y reduce la probabilidad de transmisión de agentes infecciosos; sin embargo, también advierte que el subproducto (ceniza) mantiene relevancia principalmente por riesgos ambientales y no tanto por persistencia microbiológica (Petropoulou, 2025). En el caso específico de cenizas provenientes de residuos hospitalarios, una revisión especializada sobre cenizas de incineradores hospitalarios enfatiza que

el material final se asocia más a peligros químicos (por ejemplo, metales y otros contaminantes) que a riesgos por patógenos viables, debido a la acción letal del tratamiento térmico (Nuseibah y otros, 2023). En conjunto, los hallazgos respaldan que, en tu estudio, el principal foco sanitario inmediato no es la carga microbiológica (muy baja), sino el manejo seguro para evitar recontaminación y, sobre todo, controlar los riesgos químicos asociados a la ceniza.

4.6. Discusión

Los resultados de la caracterización de los residuos sólidos peligrosos en el establecimiento de salud evaluado evidenciaron un claro predominio de los residuos biocontaminados, con un promedio mensual de 15 581,75 kg/mes (alcanzando picos de hasta 20 500 kg/mes en diciembre), seguidos por los residuos punzocortantes (503,67 kg/mes) y los residuos especiales (336,83 kg/mes). Este comportamiento cuantitativo y cualitativo refleja que la mayor presión de generación en el sector salud proviene de la atención directa al paciente y procedimientos asistenciales rutinarios. Estos hallazgos guardan concordancia con la literatura nacional evaluada. Por ejemplo, Cruz (2023), al evaluar los riesgos ambientales en el manejo de residuos hospitalarios en el norte del Perú, identificó que el 74,25% del total correspondía a residuos biocontaminados, corroborando que este rubro representa la fracción mayoritaria en cualquier sistema de atención médica. De manera similar, Pastor (2022) en el Hospital Regional de Ica determinó una alta generación diaria con marcada predominancia de la fracción biocontaminada (185,92 kg/día) frente a los residuos comunes. Asimismo, Condezo (2022) reportó patrones similares (63% de residuos biocontaminados) durante la atención de contingencias sanitarias en

Pasco. La coincidencia de estos datos confirma que los establecimientos de salud peruanos comparten una estructura de generación homogénea donde los residuos biocontaminados dominan el flujo operativo. Esto justifica la necesidad de contar con sistemas de tratamiento térmico eficientes como la incineración, la cual, según el diagrama de flujo evaluado, permite procesar el porcentaje prioritario de estos residuos (especialmente restos anatómicos y materiales infecciosos críticos) logrando reducir masivamente el volumen inicial hasta generar un promedio de 500 kg/mes de cenizas.

El análisis químico de las cenizas mediante espectrometría (ICP-OES/ICP-MS) reveló una matriz compleja caracterizada por concentraciones sumamente elevadas de macroelementos como calcio (158 372 mg/kg MS), magnesio (9 895 mg/kg MS), hierro (5 550 mg/kg MS) y potasio (4 829 mg/kg MS), así como una presencia significativa de metales pesados críticos como zinc (8 381,6 mg/kg MS), cobre (1 302,6 mg/kg MS), plomo (1 223,4 mg/kg MS), cromo (296,5 mg/kg MS) y níquel (78,5 mg/kg MS). Esta acumulación metálica es consecuencia directa de la volatilización de la materia orgánica durante la combustión a altas temperaturas, la cual concentra los componentes inorgánicos provenientes de plásticos aditivados, instrumentos médicos descartables, fármacos, pigmentos y componentes electrónicos o metálicos presentes en el flujo hospitalario. Estos resultados respaldan lo sostenido por Yang y otros (2025) y Alhameed y otros (2023), quienes enfatizan que las cenizas de incineración médica concentran elementos como Cu, Pb, Zn, Cd y Ni debido a la naturaleza heterogénea de los desechos sanitarios. Asimismo, la alta concentración de zinc y hierro hallada en Pucallpa coincide plenamente con los reportes de Kofi y Pimenta (2023) en Ghana, quienes identificaron que los

metales pesados dominantes en las cenizas de fondo biomédicas superaban ampliamente los límites permisibles ambientales debido a su estabilidad térmica y resistencia a la degradación por fuego. En la misma línea, Beikmohammadi y otros (2023) y Mohammad y otros (2024) señalan que elementos como el Zn, Cu y Cr se concentran fuertemente en los subproductos sólidos de la incineración. Esta alta carga de metales pesados demuestra que las cenizas no pueden ser dispuestas libremente en el ambiente sin un tratamiento previo de estabilización, tal como lo recomiendan Valizade y otros (2024) y Wei y otros (2022), quienes advierten sobre el riesgo de lixiviación si estas matrices no son encapsuladas o tratadas adecuadamente.

Los análisis microbiológicos realizados a las muestras de cenizas indicaron valores menores a 0,18 NMP/g tanto para coliformes termotolerantes como para Escherichia coli, evidenciando una ausencia práctica de contaminantes patógenos viables. Este resultado confirma la alta eficacia del proceso de incineración como método térmico de esterilización e inactivación biológica. Las temperaturas operativas del horno incinerador destruyen por completo las estructuras celulares y los agentes infecciosos presentes en los residuos biocontaminados originales. Este hallazgo se alinea con las revisiones técnicas de Hossein y otros (2025) y Petropoulou (2025), quienes destacan que los sistemas de tratamiento térmico logran eficiencias de eliminación de patógenos superiores al 99,99%, transformando un residuo altamente infeccioso en un subproducto microbiológicamente inactivo. Como lo señalan Nuseibah y otros (2023), tras una incineración adecuada, el riesgo sanitario biológico de las cenizas se anula prácticamente por completo; por lo tanto, el verdadero reto ambiental y técnico ya no radica en la contaminación por patógenos, sino en la

gestión rigurosa de su peligrosidad química (presencia de metales pesados y sales solubles).

Al integrar la caracterización fisicoquímica, microbiológica y la contrastación con la normativa nacional vigente, se evaluó el potencial de valorización de las cenizas. Los resultados demostraron que no son aptas para su aplicación directa en suelos (incumpliendo los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos - D.S. N.° 011-2017-MINAM por concentraciones de bario y plomo) ni para su uso como fertilizante compuesto (según la R.M. N.° 0178-2023-MIDAGRI, debido al exceso de cadmio, cobre, cromo y plomo, además de un contenido insuficiente de fósforo). Sin embargo, al contrastar la composición mineral de las cenizas con los parámetros de la NTP 334.090-2013 para agregados de Tipo II (complemento de concreto o arenas finas), se constató que la matriz cumple con los requisitos físico-químicos basales para su integración en materiales de construcción, condicionado a un proceso previo de preacondicionamiento granulométrico y lavado o estabilización química. Esta alternativa de valorización se sustenta en las tendencias científicas actuales orientadas hacia la economía circular y la creación de "concreto verde". Diversos autores respaldan el uso de subproductos cenicientos en matrices cementicias: Chowdhury y otros (2023) demostraron la viabilidad técnica de utilizar cenizas volantes de incineración médica como relleno mineral en pavimentos sin riesgos significativos de lixiviación; de igual manera, Song y otros (2024), Rúa y otros (2023) y Molina y Moriones (2023) comprueban que la covitrificación o la incorporación de cenizas en matrices de cemento y hormigón inmovilizan eficazmente los metales pesados, mitigando su impacto ambiental y reduciendo la extracción de agregados virgen.

Por lo tanto, en el contexto de la región Ucayali, el aprovechamiento de estas cenizas como adición o complemento en la industria de la construcción local —bajo estrictos protocolos de control de metales pesados y estabilización— se perfila como la solución más sostenible y técnica para transformar un pasivo ambiental peligroso en un recurso útil para el desarrollo regional.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali presentan un potencial de aprovechamiento condicionado, determinado por su composición química y microbiológica. Si bien no resultan aptas para su aplicación directa en suelos ni como fertilizante debido al contenido de metales pesados como plomo, cadmio y cromo, su baja carga microbiológica y su adecuada composición mineral permiten considerar su valorización como material complementario en la elaboración de concreto, previo pre acondicionamiento y control ambiental, contribuyendo a una gestión más sostenible de estos residuos.

- Los residuos sólidos peligrosos hospitalarios incinerados estuvieron constituidos mayoritariamente por residuos biocontaminados, seguidos por residuos punzocortantes y, en menor proporción, residuos especiales.

- Las cenizas analizadas presentaron concentraciones elevadas de calcio, zinc, hierro, potasio y magnesio, así como niveles significativos de metales pesados como plomo, cobre, cromo, níquel y cadmio.

- Los análisis microbiológicos demostraron la ausencia práctica de contaminantes patógenos, registrándose valores muy bajos de coliformes termotolerantes y Escherichia coli. Estos resultados confirman la eficacia del proceso de incineración en la inactivación de microorganismos, reduciendo significativamente el riesgo sanitario asociado a las cenizas generadas.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali sean incorporadas en estrategias de valorización controlada, priorizando su uso como material complementario en la industria de la construcción. Para ello, es necesario implementar procesos de pre acondicionamiento físico y químico, así como monitoreos periódicos del contenido de metales pesados, garantizando el cumplimiento de las normas técnicas y ambientales. Asimismo, se sugiere promover estudios piloto que evalúen su desempeño en matrices cementicias bajo condiciones locales.
- Se recomienda fortalecer los programas de segregación en la fuente dentro de los establecimientos de salud, de acuerdo con la NTS N.° 144-MINSA/2018/DIGESA, con énfasis en los residuos biocontaminados y punzocortantes.
- Se recomienda que, antes de cualquier aprovechamiento, las cenizas sean sometidas a tratamientos de estabilización o solidificación, tales como su incorporación en matrices cementicias

o geopoliméricas, a fin de reducir la movilidad y lixiviación de metales pesados.

- Se recomienda mantener condiciones operativas adecuadas del proceso de incineración, asegurando temperaturas y tiempos de residencia suficientes para garantizar la inactivación microbiológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adama M, Esena R, Fosu-Mensah B, Yirenya-Tawiah D. (2016). Heavy Metal Contamination of Soils around a Hospital Waste Incinerator Bottom Ash Dumps Site. *J Environ Public Health*. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4789433/?

Alhameed El-Amaireh, N., Al-Zoubi, H., & Al-Khashman, O. (2023). Hospital waste incinerator ash: characteristics, treatment techniques, and applications (A review). *Journal of Water Health, 21*(11), 1686-1702. doi:https://doi.org/10.2166/wh.2023.299

Angaspilco Llamo Mariseli , Jhan C. Bocanegra Avellaneda, Sócrates P. Muñoz Pérez, Lesly J. Torres Zavaleta, Cristian D. Villanueva Meza. (2021). Uso de cenizas de carbón para mejorar la resistencia a la compresión del concreto. *Revista Ciencia Nor@ndina, 4*(2), 47-60. Obtenido de https://scholar.archive.org/work/bel6huak4feufozjtknpyg566i/access/wayback/https://unach.edu.pe/rcnorandina/index.php/ciencianorandina/article/download/290/249

Beikmohammadi, M., Yaghmaeian , K., Nabizadeh, R., & Hossein Mahvi, A. (2023). Analysis of heavy metal, rare, precious, and metallic element content in bottom ash from municipal solid waste incineration in Tehran based on particle size. *Scientific Reports, 13*(16044). Obtenido de https://www.nature.com/articles/s41598-023-43139-1

BONILLA VALLES, J., & CÓRDOVA LUDEÑA, E. (2021). *EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS DE SAMÁN (Samanea*

saman) Y ALGARROBO (Ceratonia siliqua) PARA APROVECHAMIENTO COMO POTASA. GUAYAQUIL – ECUADOR: UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR. Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BONILLA%20VALLES%20JERSSON%20%281%29.pdf

Chowdhury, R., Al Biruni, M., Afia, A., Hasan, M., Russedul Islam, M., & Ahmed, T. (2023). Medical Waste Incineration Fly Ash as a Mineral Filler in Dense Bituminous Course in Flexible Pavements. *National Center for Biotechnology Informacion, 16*(16). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10456925/

Condezo Ramos, Ana Belen. (2022). *Caracterización de los residuos sólidos hospitalarios generados por la atención de pacientes infectados con el virus COVID-19 en el hospital Dr. Daniel Alcides Carrión García de Yanacancha – Pasco - 2021.* Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2532

Coronel Sánchez Yan Carlos, Luis Fernando Altamirano Tocto, Sócrates Pedro Muñoz Pérez. (2022). Cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto ecológico. *Rev. Inst. InvestIg. Fac. mInas metal. cIenc. geogR, 25*(49), 321-329. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/100239985/18270-libre.pdf?1679696783=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCenizas_y_fibras_utilizadas_en_la_elabor.pdf&Expires=1768694183&Signature=FdvcKrVkYqDTj-rsV2EYK5vBbrX8XErxnbBYpKjhm0r73toTTu8FhNL

Cruz Rodriguez, V. (2023). *Evaluación del riesgo ambiental durante el manejo de residuos sólidos hospitalarios en los tópicos de salud de una empresa agroindustrial, Moche 2022.* Lima-Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/35458

Dreyfus Paredes, Ernesto Guillermo. (2022). *Evaluación de riesgos sanitarios relacionados en el manejo de residuos sólidos hospitalarios generados en el hospital amazónico de Yarinacocha- provincia de Coronel Portillo-Ucayali.* Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de https://repositorio.unu.edu.pe/items/3eb19cfe-84a1-4f0d-a89b-1bae6068e2a8

Ferreira Grimaldos, M y Benítez Picón, F. (2022). *Sinterización y caracterización de membranas cerámicas a partir de arcillas, diatomitas y cenizas volantes para el tratamiento de aguas residuales mineras.* Universidad Francisco de Paula Santander. Obtenido de https://repositorio.ufps.edu.co/entities/publication/05d0fa9a-e458-4476-9288-ca027199cf1d

Gielar A, Helios-Rybicka E. (2013). Enviromental impact of a hospital waste incineration plant in Krakow (Poland). *Waste Management & Research, 31*(7), 722-728. Obtenido de https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X13485868?

Gonzales Zarpan Jose Darıo y Wilber Quispe Prado. (2024). Influencia de la Ceniza de Subproductos-Agroindustriales como sustituto parcial del cemento en las Propiedades Mec´anicas y Microestructurales del concreto, ICA-2024. *Revista de Climatolog´ıa Edici´on Especial Ciencias*

Sociales, 24, 2152-2190. Obtenido de https://rclimatol.eu/wp-content/uploads/2024/10/Articulo-RCLIMCS24_Jose-Zarpan.pdf

Graham Matthews. (2024). *Hospital Waste.* Europa: Business Waste. Obtenido de https://www.businesswaste.co.uk/sectors/hospital-waste-management/hospital-waste-facts/?

Hossein Nematollahi, Maryam Tuysserkani, Ali Nematollahi. (2025). Medical waste management in the modern healthcare era: A comprehensive review of technologies, environmental impact, and sustainable practices. *Results in Engineering, 28*, 107210. doi:https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107210

Huaquisto Cáceres, Samuel y Belizario Quispe, Germán. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista Investigaciones Altoandinas, 20*(2), 225-234. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6600697

IDEAM. (2022). *Metodología para la determinación de metales totales en sedimentos por el método de la EPA.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Obtenido de https://ideam.gov.co/sites/default/files/mapa-de-procesos/m-s-lc-i090_instructivo_de_ensayo_determinacion_de_metales_totales_en_sedimentos_por_icp_optico_epa_3050b_v1.pdf

Jayaranjan, M.L.D., van Hullebusch, E.D. & Annachhatre, A.P. . (2014). Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. *Rev Environ Sci Biotechnol* , 467-486. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-014-9336-4

Kaposi Adam , Attila Nagy, Gabriella Gomori & Denes Kocsis. (2024). Analysis of healthcare waste and factors affecting the amount of hazardous healthcare waste in a university hospital. *Journal of Material Cycles and Waste Management, 26*, 1169-1180. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-024-01890-1?

Kofi Debrah, J., & Pimenta Dinis, M. (2023). Chemical characteristics of bottom ash from biomedical waste incinerators in Ghana. *Environ Monit Assess, 195*(5). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10102684/

Ministerio de salud. (2018). *Norma Técnica de Salud: "Gestión Integral y Manejo de Residuos Sólidos en Establecimientos de Salud, Servicios Médicos de Apoyo y Centros de Investigación".* Lima - Perú: Ministerio de salud. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/Orientacion/NTS-144-MINSA-2018-DIGESA.pdf

Ministerio del medio Ambiente. (2017). *Decreto Legislativo del medio Ambiental.* Lima - Perú: Ministerio del medio Ambiente. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf

Mohammad Ali Abdoli, Behzad Valizadeh ,Sina Dobaradaran ,Rouhalla Mahmoudkhani yYousef Abdossalami Asl. (2024). Control de riesgos de metales pesados en cenizas de incineradores de residuos mediante escenarios de solidificación disponibles en la producción de cemento basados en análisis de flujo de residuos. *Sci Rep, 14*, 6252. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-024-56551-y

Molina Molina, Valentina y Moriones Hernández, Juan Manuel. (2023). *Uso de la ceniza para la solidificación del concentrado producido por el sistema de tratamiento de ósmosis inversa en un relleno sanitario en el Valle del Cauca, Colombia.* Colombia: Unidad Central del Valle del Cauca. Obtenido de https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/3698

Nuseibah Abd Alhameed El-Amaireh; Habis Al-Zoubi; Omar Ali Al-Khashman. (2023). Hospital waste incinerator ash: characteristics, treatment techniques, and applications (A review). *J Water Health, 21*(11), 1686–1702. doi:https://doi.org/10.2166/wh.2023.299

OMS. (2024). *Health-care waste.* Geneva: World Health Organization. Obtenido de https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste?

Organización Mundial de la Salud. (2022). Gestión segura de los. *Organización Mundial de la Salud, 1*, 1-32. Obtenido de https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352327/WHO-FWC-WSH-17.05-spa.pdf

Organizacion salud sin Daño. (2024). *Residuos hospitalarios.* Organizacion salud sin Daño. Obtenido de https://lac.saludsindanio.org/residuos-hospitalarios

Pastor Ramírez, Norma. (2022). *Caracterización y manejo de los desechos hospitalarios del Hospital Regional de Ica.* Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Obtenido de https://repositorio.unica.edu.pe/items/61992804-ec56-4537-bd38-16c9547802a0

Petropoulou P. (2025). Hazardous waste management and one health approach. *Front. Public Health, 13*, 1684269. doi:https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1684269

Quirantes Lopez Maria del Mar. (2015). *Propuesta para la reutilización agrícola de las cenizas generadas en la obtención de energías renovables a partir de biomasa residual.* Granada: Universidad de Granada. Obtenido de https://digibug.ugr.es/handle/10481/39714

Rúa Suárez , Carvajal Jaramillo, Lasso Cerón y Arbeláez Pérez. (2023). Producción de hormigón verde a partir de ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento. *Revista ION, 35*(2). doi:https://doi.org/10.18273/revion.v35n2-2022008

Ruiz A.F., C.J Peñaranda, G. Fuentes y M.D Semprun,. (2020). “Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, 11*(2), 8-17. doi:https://doi.org/10.25213/2216-1872.51

Sarango Balcazar, R., & Valentin Nuñez, L. (2020). *Técnicas de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios: revisión sistemática.* Lima Este-Perú: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62610

Shen, W., Zhu, N., Xi, Y., Huang, J., Li, F., Wu , P., & Dang, Z. (2022). Effects of medical waste incineration fly ash on the promotion of heavy metal chlorination volatilization from incineration residues. *Journal of Hazardous*

Materials, 425, 128037. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128037

Sialer Campos, Elizabeth Rosana. (2024). *Evaluación del extracto proteico de las semillas de moringa (Moringa oleífera) inmovilizadas sobre cenizas de cáscara de arroz en la disminución de turbidez para obtener agua potable.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/14176

Song, H., Huang, Y., Pang, J., Li, Z., Zhu, Z., Cheng, H., . . . Zhou, H. (2024). A study of the stabilization and solidification of heavy metals in co-vitrification of medical waste incineration ash and coal fly ash. *Waste Management, 186*, 46-54. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.06.003

Tamíris Pacheco da Costa, Paula Quinteiro, Luís Arroja, Ana Cláudia Dias. (2022). Environmental performance of different end-of-life alternatives of wood fly ash by a consequential perspective. *Sustainable Materials and Technologies, 32*, e00411. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214993722000252

Valizadeh, B., Ali Abdoli, M., Dobaradaran, S., Mahmoudkhani, R., & Abdossalami Asl , Y. (2024). Risk control of heavy metal in waste incinerator ash by available solidification scenarios in cement production based on waste flow analysis. *Scientific Reports, 14*(6252). Obtenido de https://www.nature.com/articles/s41598-024-56551-y

Vele A.M. , F. Cabello Galisteo, E. Atanes-Sánchez, A. Nieto-Márquez, María J. Martín de Vidales,. (2025). Gestión sostenible de las cenizas volantes de

la incineración de residuos sólidos urbanos: una revisión basada en la evaluación del ciclo de vida de las vías de tratamiento y valorización. *Revista de avances en materiales peligrosos, 19*, 100817. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416625002281

Vilakazi, AQ, Ndlovu, S., Chipise, L. y Shemi, A. (2022). The Recycling of Coal Fly Ash: A Review on Sustainable Developments and Economic Considerations. *Sustainability, 14*(4), 1958. doi:https://doi.org/10.3390/su14041958

Wei, X., Xie, F., Dong, C., Wang, P., Xu, J., Yan, F., & Zhang, Z. (2022). Safe disposal of hazardous waste incineration fly ash: Stabilization/solidification of heavy metals and removal of soluble salts. *Journal of Environmental Management, 324*, 116246. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116246

World Health Organization. (2014). Safe management of wastes from health-care activities. *World Health Organization, 2*, 1-329. Obtenido de https://www.who.int/publications/i/item/9789241548564

Yang, M., Wang, Q., Fen, N., Zhang, X., Ji, W., Sun, Y., . . . Ma, Y. (2025). Study on enhanced heavy metal immobilisation in medical waste incineration bottom ash using calcium carbide residue with nanowire-like calcium carbonate regulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 13*(3), 116761. doi:https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116761

Yáñez Valdés, Luis Andrés. (2019). *Tecnologías de mejoramiento de la ceniza volante con altos contenidos de carbón y sus beneficios al utilizar ceniza*

mejorada como adición al cemento portland. Chile: Universidad de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171796

Zhao L, Zhang FS, Wang K, Zhu J. (2009). Chemical properties of heavy metals in typical hospital waste incinerator ashes in China. *Waste Manag, 29*(3), 1114-1121. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7127159/?

ANEXOS

Anexo 1: matriz de consistencia

"Evaluación del potencial de aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025"						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Parámetros	Indicador
General	General	General				
¿Cuál es el potencial para el aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025?	Evaluar el potencial de aprovechamiento de las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, 2025	Las cenizas generadas por la incineración de residuos peligrosos hospitalarios en la región Ucayali, tiene un potencial para ser aprovechado como constituyente para materiales de construcción.	**Variable Independiente:** Residuos hospitalarios	Residuos peligrosos	Tipo A.1: De atención al paciente: Tipo A.2: Biológicos Tipo A.3: Bolsas conteniendo sangre humana y hemoderivados Tipo A.4: Residuos quirúrgicos y anátomo patológicos Tipo A.5: Punzocortantes Tipo A.6: Animales contaminados Tipo B.2: Residuos Farmacéuticos	Kg/día Kg/día Kg/día Kg/día Kg/día Kg/día Kg/día
Especifico	Especifico	General				
¿Cuáles son las características de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados?	Caracterizar los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados	Los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, son restos anatómicos en un 15%.				

¿Cuál es el contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados?	Determinar el contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados	El contenido de metales en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, presentan 0.15 mg/kg de aluminio y 0.3 mg/kg de hierro.	**Variable Dependiente**: Cenizas de incineración	Elementos metálicos en cenizas	Aluminio Bismuto Calcio Cadmio Cromo Cobre Hierro Molibeno Plomo Verilion Zinc	mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg
¿Existe contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados?	Determinar la presencia de contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados	Existe presencia de contaminantes patógenos en las cenizas de los residuos sólidos peligrosos hospitalarios que son incinerados, como los coliformes fecales mayor a 500 UFC/gr				

Anexo 2: Panel fotográfico

Figura 24 Ubicación y inspección del sistema de incineración del hospital



Figura 25 Inspección del área de almacenamiento de residuos comunes del hospital



Figura 26 Inspección del área de almacenamiento de residuos Biocontaminados del hospital



Figura 27 Inspección del área de almacenamiento de residuos especiales del hospital



Figura 28 Recolección de muestra de cenizas del sistema de incineración en frio



Figura 29 Recolección de muestras de cenizas almacenadas



Figura 30 Muestras recolectadas de las cenizas de incineración de los residuos del hospital



Anexo 3: Certificados de análisis

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-47060

N° Id.: 0000188120

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
2.- DIRECCIÓN	: CAR.FEDERICO BASADRE KM. REF: (KM. 6.001 UNU) UCAYALI - CORONEL PORTILLO - CALLERIA
3.- PROYECTO	: ANALISIS DE COMPOSICION DE CENIZAS DE INCINERACION DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS
4.- PROCEDENCIA	: PUCALLPA- UCAYALI
5.- SOLICITANTE	: MIGUEL ÁNGEL SAAVEDRA MERA
6.- PRODUCTO	: Suelos (Ceniza(

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000007158-2025-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2025-11-04

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2- NÚMERO DE MUESTRAS	3
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2025-10-24
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: En buen estado de conservación y preservación
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2025 10-24 al 2025-11-04

Mgtr. Ing. Lic. Freddy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Marleni V. Rivera Castromonte
Supervisor de Laboratorio de Microbiología e Hidrobiología
CBP N° 16639

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-47060

N° Id.: 0000188120

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Escherichia Coli - Suelos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Metales Totales por ICP-MS	EPA Method 6020B, Rev.2, 2014/EPA Method 3050B Rev. 2, 1996. (Validado - Aplicado fuera del alcance: B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti , Bi, U,Th) 2020.	METALES TOTALES: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn,Hg, B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U, Th. Inductively coupled plasma-mass spectrometry / Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis
"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista, Callao.
Tel.: (+511) 713 9358 / 713 9636
Cel.: 977 616 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3,
Bellavista, Callao
Cel.: 977 616 675 / 932 646 660

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 5,
Arequipa
Tel.: (+054) 935 643
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. 30 Lt. 42,
Castilla - Piura
Tel.: (+01) 713 9636

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 25,
Alto Salaverry - Trujillo
Tel.: (+51) 713 0636
Cel.: 013 475 130

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-47060

Nº Id.: 0000188120

V.- RESULTADOS

ITEM				1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-25-105749	M-25-105750	M-25-105751
CÓDIGO CLIENTE (A)				RIS-M01	RIS-M02	RIS-M03
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)				E:0549942 N:9072591	E:0549942 N:9072591	E:0549942 N:9072591
PRODUCTO (A)				Suelos	Suelos	Suelos
SUB PRODUCTO (A)				Suelos	Suelos	Suelos
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)				12-07-2025 11:15	01-09-2025 12:15	13-10-2025 10:15
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (**)	NMP/g	NA	0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Escherichia Coli - Suelos (**)	NMP/g	NA	0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (**)	mg/Kg MS	0,10	0,30	25 860,64	30 967,46	28 324,75
Antimonio (**)	mg/Kg MS	0,06	0,20	22,31	26,91	21,42
Arsénico (**)	mg/Kg MS	0,02	0,10	3,31	2,11	3,06
Bario (**)	mg/Kg MS	0,01	0,03	1 575,57	1 442,54	1 628,66
Berilio (**)	mg/Kg MS	0,01	0,03	0,17	0,45	0,32
Bismuto (**)	mg/Kg MS	0,06	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Boro (**)	mg/Kg MS	0,03	0,10	16,25	13,23	17,53
Cadmio (**)	mg/Kg MS	0,005	0,020	1,305	1,805	1,160
Calcio (**)	mg/Kg MS	0,10	0,40	162 007,52	158 997,73	154 112,20
Cerio (**)	mg/Kg MS	0,04	0,10	24,69	24,14	22,73
Cobalto (**)	mg/Kg MS	0,05	0,20	1,97	1,10	1,65
Cobre (**)	mg/Kg MS	0,005	0,020	1 203,250	1 036,285	1 668,261
Cromo (**)	mg/Kg MS	0,01	0,03	351,15	263,77	274,54
Estaño (**)	mg/Kg MS	0,03	0,10	29,64	30,83	30,56
Estroncio (**)	mg/Kg MS	0,05	0,20	127,25	204,90	189,97
Fosforo (**)	mg/Kg MS	0,04	0,10	2 178,24	2 781,69	1 873,19
Hierro (**)	mg/Kg MS	0,06	0,20	5 654,64	5 065,18	5 929,89
Litio (**)	mg/Kg MS	0,003	0,010	9,543	9,122	8,897

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

Donde dice "MS" Masa seca equivale a "PS" Peso seco

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 9358 / 713 0630
Cel.: 977 616 675 / 977 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt 3,
Bellavista, Callao
Cel.: 977 616 675 / 932 646 661

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 1,
Arequipa
Telf.: (+054) 935 643
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro II Etapa
Mz. 33 Lt. 02,
Castilla - Piura
Telf.: (+511) 713 0630
Cel.: 919 476 193

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+51) 713 0630
Cel.: 919 476 193

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-47060

Nº Id.: 0000188120

ITEM		1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-25-105749	M-25-105750	M-25-105751
CÓDIGO CLIENTE (A)		RIS-M01	RIS-M02	RIS-M03
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)		E:0549942 N:9072591	E:0549942 N:9072591	E:0549942 N:9072591
PRODUCTO (A)		Suelos	Suelos	Suelos
SUB PRODUCTO (A)		Suelos	Suelos	Suelos
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)		12-07-2025 11:15	01-09-2025 12:15	13-10-2025 10:15
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**
Magnesio (**)	mg/Kg MS	0,06	0,20	10 880,17	7 760,65	11 043,60
Manganeso (**)	mg/Kg MS	0,01	0,03	109,96	86,67	114,41
Mercurio (**)	mg/Kg MS	0,01	0,04	0,96	0,28	0,81
Molibdeno (**)	mg/Kg MS	0,03	0,10	82,24	89,95	80,42
Niquel (**)	mg/Kg MS	0,01	0,04	110,19	42,87	82,39
Plata (**)	mg/Kg MS	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Plomo (**)	mg/Kg MS	0,05	0,20	1 059,62	1 385,27	1 225,20
Potasio. (**)	mg/Kg MS	0,30	1,00	4 782,32	5 397,97	4 309,05
Selenio (**)	mg/Kg MS	0,05	0,20	1,16	0,57	0,80
Silicio (**)	mg/Kg MS	0,02	0,07	921,45	1 568,21	1 022,68
Sodio (**)	mg/Kg MS	0,03	0,10	27 163,71	31 628,15	23 179,90
Talio (**)	mg/Kg MS	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Titanio (**)	mg/Kg MS	0,03	0,10	1 227,55	1 197,74	1 235,15
Torio (**)	mg/Kg MS	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Uranio (**)	mg/Kg MS	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Vanadio (**)	mg/Kg MS	0,01	0,04	6,10	5,62	6,27
Zinc (**)	mg/Kg MS	0,01	0,02	7 935,80	8 864,86	8 344,00

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
Donde dice "MS" Masa seca equivale a "PS" Peso seco

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao
Tel.: (+511) 713 9750 / 713 0636
Cel.: 977 616 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D3 Lt.3, Bellavista, Callao
Cel.: 977 616 675 / 932 646 861

SEDE AREQUIPA
COOP. SIDSUR Mz. E Lt. 8, Arequipa
Tel.: (+056) 635 643
Cel.: 930 646 642

SEDE PIURA
Urb. Semisotto II Etapa Mz. 30 Lt. 42, Castilla - Piura
Tel.: (+01) 713 0636
Cel.: 959 475 130

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 25, Alto Salaverry - Trujillo
Tel.: (+51) 713 0636
Cel.: 959 475 130

www.alab.com.pe

Certificado

INACAL
Instituto Nacional de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Guardia Chalaca N°1877, distrito de Bellavista, provincia Constitucional del Callao, departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 26 de julio de 2023
Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2027

Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU 20600283015 soft
Fecha: 2023-09-13 18:32:08
Motivo:Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 13 de setiembre de 2023

Cedula: N° 234-2023-INACAL/DA
Adenda N°: 04 del contrato N° 025-16/INACAL-DA
Registro N°: LE-096

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DE-LAB-56-1

IAS INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE®

CERTIFICATE OF ACCREDITATION

This is to attest that

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L

AV. GUARDIA CHALACA N° 1877 BELLAVISTA - PROV. CONSTITUCIONAL DEL CALLAO
LIMA, 07001, PERU

Testing Laboratory TL-833

has met the requirements of AC89, *IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories*, and has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. This organization is accredited to provide the services specified in the scope of accreditation.

Effective Date July 18, 2025

IAS ACCREDITED

IAS is an ILAC MRA Signatory

International Accreditation Service
Issued under the authority of IAS management

Visit www.iasonline.org for current accreditation information.