



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS
AGRÍCOLAS Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL CAMACANI – PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

HEBERT NILTON CUEVA CASTRO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO - PERÚ

2025



HEBERT NILTON CUEVA CASTRO

DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS AGRÍCOLAS Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA EN EL CENTRO...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::8254:474259020

Fecha de entrega

16 jul 2025, 12:15 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 jul 2025, 12:19 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

BORRADOR DE TESIS_HEBERT NILTON CUEVA CASTRO_FINAL1.pdf

Tamaño de archivo

3.8 MB

107 Páginas

17.896 Palabras

100.037 Caracteres





18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 11 palabras)

Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Sancho Sardon Nina

Dr. Manuel A. Cabello Valencia
Sub-Director de Invest. EPIA -FCP





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS AGRÍCOLAS Y
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL
CAMACANI – PUNO

TESIS PRESENTADA POR:
HEBERT NILTON CUEVA CASTRO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRIMER MIEMBRO:


D.Sc. DANIEL CAÑAZA MAMANI


PRIMER MIEMBRO:


M.Sc. JULIO CESAR SOSA CHOQUE

SEGUNDO MIEMBRO:


Dr. MARIO FLORES ARONI

ASESOR DE TESIS:


M.Sc. SANDRO SARDÓN NINA

ÁREA: Ciencias Agrarias

TEMA: Manejo y conservación de recursos de agua y suelo

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de julio del 2025



DEDICATORIA

Dedico este trabajo con cariño a mis apreciados padres, Víctor Raúl Cueva Samo y Victoria Castro Ramos por todo el apoyo y amor que me han brindado. Su fé en mí y su aliento constante han sido fundamentales para mi desarrollo personal y profesional. Aprecio profundamente cada consejo y palabra de ánimo que me han ofrecido.

A mis hermanos Roy y Flor por su apoyo incondicional y su aliento constante. Su presencia en mi vida ha sido una fuente de fortaleza y motivación. Me siento afortunado de contar con su respaldo y amor en cada paso de mi camino.

Hebert Nilton Cueva Castro



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y la oportunidad de ser quien soy. A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por la formación profesional y los conocimientos impartidos a través de los docentes.

A mi director de tesis, M.Sc. Sandro Sardón Nina, por su colaboración, dedicación, paciencia y recomendaciones durante la ejecución hasta la culminación del proyecto de investigación.

A los miembros del jurado de tesis: D.Sc. Daniel Canaza Mamani, M.Sc. Julio Cesar Sosa Choque y Dr. Mario Flores Aroni, por su apoyo y evaluación.

Al Instituto Nacional de Investigación de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por facilitar el análisis de metales pesados y la caracterización de los suelos en el Laboratorio de Suelos y Aguas.

A mi amigo Edwin Jhemilton Huamán Chayacaña por su apoyo en la etapa de campo. Por último, a todos aquellos que, de manera directa o indirecta, me han ayudado en la realización del proyecto de investigación.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVOS.....	20
1.1.1. Objetivo general	20
1.1.2. Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1.1. Internacionales	21
2.1.2. Nacionales	23
2.1.3. Locales	27
2.2. MARCO TEÓRICO	30
2.2.1. Factores formadores del suelo.....	30
2.2.2. Suelo.....	30



2.2.3. Procesos pedogenéticos.....	31
2.2.4. Unidad taxonómica y edáfica.....	31
2.2.5. Origen de los metales pesados	33
2.2.6. Metales pesados.....	33
2.2.7. Suelo contaminado	35
2.2.8. Contaminación de los suelos por actividad agrícola	35
2.2.9. Movilidad natural de los metales pesados.....	36
2.2.10. Cadmio	36
2.2.11. Origen natural del cadmio	37
2.2.12. Origen antropogénico del cadmio	37
2.2.13. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos del Cd.....	38
2.2.14. Absorción y acumulación del Cadmio en las plantas.....	39
2.2.15. Plomo	39
2.2.16. Solubilidad del Plomo en suelos ácidos	40
2.2.17. Relación suelo – planta del plomo	40
2.2.18. Absorción y acumulación del Plomo en las plantas.....	40
2.2.19. Factores que afectan la disponibilidad del cadmio y plomo en el suelo para su absorción de las plantas	41
2.2.20. Efecto del cadmio y plomo en la salud humana.....	43
2.3. MARCO LEGAL	44
2.3.1. Estándares de Calidad Ambiental para suelos (ECAs)	44

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	46
3.1.1. Ubicación del trabajo de investigación	46



3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	48
3.2.1. Materiales de campo.....	48
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	49
3.3.1. Tipo de investigación	49
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.4.1. Metodología para la caracterizar los elementos de Cadmio y Plomo en diez parcelas del C.E. Camacani – Puno.....	49
3.4.2. Metodología para la caracterización y clasificación según la Soil Taxonomy de dos suelos con mayor y menor presencia de Cd y Pb en el C.E. Camacani – Puno.....	54
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DETERMINAR LOS ELEMENTOS DE CADMIO Y PLOMO EN EL EPIPEDÓN DE DIEZ PARCELAS DEL C. E. CAMACANI – PUNO	60
4.1.1. Concentración de Cadmio en diez parcelas del C.E. Camacani.....	60
4.1.2. Concentración de Plomo de diez parcelas del C.E. Camacani.....	63
4.2. CARACTERIZAR Y CLASIFICAR SEGÚN LA SOIL TAXONOMY DOS SUELOS CON MAYOR Y MENOR PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN EL C.E. CAMACANI – PUNO	66
4.2.1. Suelo Kallanka Esquina	66
4.2.2. Suelo Camata.....	68
4.2.3. Clasificación según la Soil Taxonomy dos suelos con mayor y menor presencia de Cadmio y Plomo en el Centro Experimental Camacani.....	70
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	75



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXOS.....	87



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Concentración de cadmio en diferentes tipos de rocas	37
Tabla 2 Aporte estimado de Cd (mg/kg) a suelos agrícolas por diferentes fuentes ..	38
Tabla 3 Estándares de evaluación de suelos contaminados por metales pesados	45
Tabla 4 Coordenadas geográficas de la ubicación	47
Tabla 5 Vías de accesibilidad al área de estudio.....	48
Tabla 6 Ubicación de puntos de muestreo en el epipedón de las diez parcelas	50
Tabla 7 Métodos de análisis de Cadmio y Plomo.....	53
Tabla 8 Ubicación de calicatas con mayor y menor presencia de Cd y Pb.....	56
Tabla 9 Resultados de concentración de Cadmio	60
Tabla 10 Resultados de concentración de Plomo.....	63
Tabla 11 Textura y propiedades físicas del suelo con mayor concentración de Cd y Pb de Kallanka Esquina.....	67
Tabla 12 Propiedades fisicoquímicas del suelo con mayor concentración de Cd y Pb de Kallanka Esquina	67
Tabla 13 Características de sorción del suelo con mayor concentración de Cd y Pb de la Kallanka Esquina	68
Tabla 14 Textura y propiedades físicas del suelo con menor concentración de Cd y Pb de Camata.....	69
Tabla 15 Propiedades fisicoquímicas del suelo con menor concentración de Cd y Pb de Camata	69
Tabla 16 Características de sorción del suelo con menor concentración de Cd y Pb de Camata	70
Tabla 17 Clasificación de suelos según la Soil Taxonomy.....	72



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Movilización natural de metales pesados por acción del viento y el agua . 36
Figura 2	Dinámica de los metales pesados en el suelo natural 43
Figura 3	Mapa de ubicación del Centro Experimental Camacani 46
Figura 4	Mapa de parcelas de estudio de Cadmio y Plomo 51
Figura 5	Mapa de calicatas en parcelas con mayor y menor concentración de Cadmio y Plomo..... 57
Figura 6	Comportamiento de Cd de diez parcelas de suelo respecto a las ECAs..... 62
Figura 7	Comportamiento del Pb de diez parcelas de suelo respeto a las ECAs..... 65



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1	Descripción de perfil de suelo de la calicata N° 01 87
Anexo 2	Descripción de perfil de suelo de la calicata N° 02..... 88
Anexo 3	Paisaje del lugar de la calicata Kallanka Esquina..... 89
Anexo 4	Calicata N° 01 Kallanka Esquina 89
Anexo 5	Calicata N° 02 Camata 90
Anexo 6	Uso de la Tabla Munsell para la determinación del color del suelo 90
Anexo 7	Muestras de suelo para análisis de laboratorio 91
Anexo 8	Muestras tamizadas..... 91
Anexo 9	Determinación de la textura por método Bouyoucos 92
Anexo 10	Análisis de pH y conductividad eléctrica 92
Anexo 11	Resultados de análisis de metales pesados de las muestras de suelos 93
Anexo 12	Análisis de resultados de caracterización de las muestras de suelos 103
Anexo 13	Declaración jurada de autenticidad de tesis..... 106
Anexo 14	Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el Repositorio Institucional..... 107



ACRÓNIMOS

AAS:	Espectrometría de Absorción Atómica
CaCO ₃ :	Carbonato de calcio
CdS:	Sulfuro de cadmio
C.E.:	Centro Experimental
CE:	Conductividad eléctrica
CCME:	Consejo Canadiense del Ministro del Medio Ambiente
Cd:	Cadmio
CIC:	Capacidad de Intercambio Catiónico
DAP:	Fosfato diamónico
ECAs:	Estándares de Calidad Ambiental del suelo
EQS:	Soil Environmental Quality Standards
EPA:	Agencia de Protección Ambiental
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GPLM:	Grandes Parques de Lima Metropolitana
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
ha:	Hectárea
Hg:	Mercurio
ICP-MS:	Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria
K ⁺ :	Potasio
mg/kg:	Miligramos por kilogramo
MINAM:	Ministerio del Ambiente



N:	Nitrógeno
P:	Fósforo
Pb:	Plomo
pH:	Potencial de Hidrógeno
STP:	Ensayo de Penetración Estándar
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
UNA:	Universidad Nacional del Altiplano
UNALM:	Universidad Nacional Agraria La Molina
UTM:	Universal Transverse Mercator
µm:	Micras
SB:	Saturación de Bases



RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el Centro Experimental Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, ubicado a una altitud de 3869 m.s.n.m. en el distrito de Platería, provincia y departamento de Puno, con la finalidad de conocer la concentración de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en los suelos agrícolas e identificar la clasificación taxonómica de los suelos según la Soil Taxonomy. Los objetivos específicos fueron los siguientes: 1) determinar los elementos de Cd y Pb en el epipedón de diez parcelas del Centro Experimental y 2) clasificar los suelos según la Soil Taxonomy de dos suelos con mayor y menor presencia de Cd y Pb. La metodología empleada para el primer objetivo fue la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) para la cuantificación de Cd y Pb. Para el segundo objetivo, se usaron los clasificadores de la Soil Taxonomy. En los resultados de las 10 muestras analizadas, se identificaron mayores concentraciones de Cd y Pb en las parcelas P-2 (1.3 mg/kg de Cd y 40 mg/kg de Pb) y P-10 (1.1 mg/kg de Cd y 136 mg/kg de Pb). Las menores concentraciones se registraron en las parcelas P-6 (0.89 mg/kg de Cd y 20 mg/kg de Pb) y P-9 (0.87 mg/kg de Cd y 25 mg/kg de Pb), contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental de Suelos (ECAs) establecidos por el MINAM (DS N° 011-2017); la posible causa de la contaminación detectada es el uso de fertilizantes. Según la clasificación de la *Soil Taxonomy*, los suelos Kallanka Esquina y Camata corresponden a los órdenes Inceptisols y Entisols, identificados como Typic Haplustept y Typic Ustorthents, reflejando distintos grados de evolución edáfica.

Palabras clave: Cadmio, Epipedón, Plomo, Soil Taxonomy, Suelos.



ABSTRACT

The study was carried out at the Camacani Experimental Center of the Universidad Nacional del Altiplano - Puno, located at an altitude of 3869 m.a.s.l. in the district of Platería, province and department of Puno, in order to determine the concentration of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) in agricultural soils and to identify the taxonomic classification of soils according to Soil Taxonomy. The specific objectives were the following: 1) to characterize the Cd and Pb elements in the epipedon of ten plots of the Experimental Center and 2) to classify soils according to the Soil Taxonomy of two soils with higher and lower presence of Cd and Pb. The methodology used for the first objective was the Atomic Absorption Spectrometry (AAS) technique for the quantification of Cd and Pb. For the second objective, the Soil Taxonomy classifiers were used. In the results of the 10 samples analyzed, higher concentrations of Cd and Pb were identified in plots P-2 (1.3 mg/kg Cd and 40 mg/kg Pb) and P-10 (1.1 mg/kg Cd and 136 mg/kg Pb). The lowest concentrations were recorded in plots P-6 (0.89 mg/kg Cd and 20 mg/kg Pb) and P-9 (0.87 mg/kg Cd and 25 mg/kg Pb), contrasted with the Soil Environmental Quality Standards (EQS) established by MINAM (DS N° 011-2017); the possible cause of the contamination detected is the use of fertilizers. According to the Soil Taxonomy classification, the soils of the Kallanka Esquina and Camata correspond to the orders Inceptisols and Entisols, identified as Typic Haplustept and Typic Ustorthents, reflecting different degrees of edaphic evolution.

Key words: Cadmium, Epipedon, Lead, Soil Taxonomy, Soils.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo se ha convertido en un tema crucial en los últimos años, debido a diversos factores y elementos que la provocan, generando graves repercusiones en diversos ámbitos. Este problema ha sido identificado como la tercera amenaza más significativa en Europa, la cuarta en África del Norte, la quinta en Asia, la séptima en el Pacífico del Noroeste, la octava en América del Norte y la novena en África y Latinoamérica (Rodríguez et al., 2019). La degradación del suelo es un fenómeno complejo que involucra procesos físicos, químicos y biológicos, y afecta directamente la productividad de los ecosistemas. Cuando estos procesos se vuelven irreversibles, las consecuencias son devastadoras, tanto a nivel social, político, económico como ecológico (Torres et al., 2003). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la degradación del suelo se define como una alteración en la salud del suelo que conlleva a una disminución de la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios y bienes a sus receptores (Enríquez, 2018).

En América, la contaminación del suelo se manifiesta en la reducción de la cobertura vegetal y la fertilidad del terreno. Latinoamérica es responsable del 14% de la degradación mundial del suelo, siendo este problema más grave en América Central, donde afecta al 26% de la tierra, y al 14% en América del Sur. Las principales causas de esta degradación incluyen la aplicación indiscriminada de agroquímicos, la erosión hídrica y la deforestación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014). En el caso de Perú, el país presenta una notable escasez de suelos aptos para la agricultura, con solo el 6% de su territorio con potencial para el desarrollo agrícola y el 13,94% para pastos naturales. A pesar de contar con 25.5 millones



de hectáreas aptas para la producción agropecuaria, Perú posee la menor proporción de tierra productiva para el cultivo de alimentos en comparación con otros países de América del Sur (Díaz, 2016).

Asimismo, el cadmio es un elemento presente en las rocas ígneas, el cual es un metal pesado conocido por su alta toxicidad y su capacidad de generar graves problemas de salud, siendo considerado un elemento pre-cancerígeno. La presencia de metales pesados en el suelo, incluso en bajas concentraciones, representa un riesgo significativo tanto para la salud humana como para los ecosistemas, debido a su tendencia a acumularse en los sistemas biológicos (Harte, 1995). De igual manera, el plomo en suelos agrícolas es un grave problema ambiental, especialmente por su toxicidad y persistencia. Las principales fuentes de contaminación incluyen actividades industriales, emisiones de vehículos y el uso de fertilizantes. Este metal pesado afecta negativamente el crecimiento de las plantas y puede acumularse en la cadena alimentaria, lo que pone en riesgo la salud humana, provocando retrasos en el desarrollo intelectual de los niños y enfermedades cardiovasculares en los adultos (Alloway, 2013; Londoño, et al., 2016).

En el ámbito agropecuario, diversas fuentes contribuyen a la contaminación del suelo, como los cohetes antigranizo, las aguas residuales utilizadas para riego, los estiércoles, el compost, los plaguicidas y los fertilizantes (Martí et al., 1999). En el C.E. de Camacani, se ha identificado que los suelos son ácidos debido al uso indiscriminado de estiércol y fertilizantes, lo que ha resultado en deficiencias de calcio y magnesio, nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. Estos suelos también contienen metales pesados como aluminio, hierro y manganeso, cuya movilidad se ve afectada por la acidez (Asqui, 2021).



Es crucial conocer los niveles de metales pesados en el suelo, ya que el uso prolongado de fertilizantes y pesticidas, sumado a la acumulación de estos componentes, ha provocado el desgaste de los suelos. Esto afecta tanto a los ecosistemas y al crecimiento de las plantas como a la estructura del suelo, y finalmente impacta la salud humana a través de los alimentos que se producen en dichos terrenos (Zhang et al., 2018). Los resultados de esta investigación podrían beneficiar a la comunidad universitaria, investigadores, agricultores y a las comunidades locales, al proporcionar información clave para tomar medidas frente a la creciente presencia de metales pesados en los suelos, cuyas concentraciones se acercan a los Estándares de Calidad Ambiental del Suelo (ECAs). Para ello se tiene planteado los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar la concentración de Cadmio y Plomo en suelos agrícolas e identificar la clasificación taxonómica de los suelos según la Soil Taxonomy en el Centro Experimental Camacani – Puno.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los elementos de Cadmio y Plomo en el epipedón de diez parcelas del Centro Experimental Camacani - Puno.
- Realizar la caracterización y clasificación de suelos según la Soil Taxonomy de dos suelos con mayor y menor presencia de Cadmio y Plomo en el Centro Experimental Camacani.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Delgado et al. (2014), en su artículo tuvo como objetivo determinar los niveles de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos superficiales de casas-habitación en la zona urbana de Juárez, Chihuahua, México, para evaluar su presencia y compararla con los límites permisibles establecidos en áreas urbanas. Se recolectaron muestras de suelo, las cuales fueron analizadas mediante técnicas específicas de espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES). Los resultados mostraron que los suelos de una casa-habitación en la colonia Mariano Escobedo presentaron las concentraciones más altas de cadmio y cromo, aunque los niveles no excedieron los límites permisibles en la normativa mexicana. El cadmio superó los límites establecidos en algunos países europeos ($>1 \text{ mg kg}^{-1}$), lo que podría representar un riesgo para la salud de la población a largo plazo.

Kanter (2018), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo dar a conocer los efectos del exceso de nitrógeno en los suelos agrícolas y su contribución al cambio climático, así como los impactos de la aplicación ineficiente de fertilizantes. A través de una revisión de estudios, se evaluaron las consecuencias del exceso de nitrógeno en la atmósfera y la acumulación de metales pesados y nitratos en los suelos. Los resultados mostraron que el uso excesivo de fertilizantes y estiércol contribuye a la contaminación difusa de los



suelos, con la pérdida de nitrógeno en forma de gases de efecto invernadero y la eutrofización de las fuentes de agua, lo que también conduce a la acumulación de metales pesados en los suelos.

John y Leventhal (1995), estudiaron sobre la absorción de metales pesados por las plantas, analizaron cómo estos metales entran en la cadena alimentaria a través de la absorción por las raíces, su transporte a la xilema y su movilización hacia tejidos de almacenamiento como frutos y semillas. Evaluaron el paso de metales desde la solución del suelo hacia las raíces y su posterior translocación hacia los tallos y hojas. Los resultados mostraron que el plomo, es absorbido eficientemente por las plantas y pueden ser transferidos a los herbívoros y humanos, lo que implica un riesgo potencial de bioacumulación en los alimentos.

Martínez y Palacio (2010), en su trabajo investigaron para determinar la concentración de cadmio y plomo en los suelos cacaoteros de San Vicente de Chucurí. En la primera fase, se validaron las técnicas analíticas para la cuantificación de estos metales en suelos, utilizando las normas EPA 050B y NOM 021. La validación consistió en la lectura durante seis días de un lote compuesto de muestras con concentraciones conocidas y naturales. En la segunda fase, se analizaron muestras de suelo de tres fincas cacaoteras utilizando las técnicas previamente validadas. Los resultados mostraron concentraciones de cadmio de 0.32 mg/kg y 0.18 mg/kg en dos muestras de suelos, y de plomo de 5.20 mg/kg y 3.47 mg/kg en otras muestras, indicando variabilidad en los niveles de contaminación en las fincas cacaoteras.

Rodríguez et al. (2014), en su artículo científico determinaron la presencia de elementos traza como arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb)



en nueve fuentes de fertilizantes y abonos utilizados en agroecosistemas orgánicos y convencionales, mediante espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MP). Los resultados revelaron que el DAP, SPT, roca fosfórica y lombricomposta mostraron las mayores concentraciones de As, Cd y Pb, mientras que el Hg solo se detectó a bajas concentraciones en el SPT. La lombricomposta, como fuente de 100 kg de N ha⁻¹, es el material que más elementos traza aporta al suelo, con estimaciones de 17,139 mg ha⁻¹ de As, 2,190 mg ha⁻¹ de Cd y 76,176 mg ha⁻¹ de Pb, siendo aún mayor el ingreso de estos elementos si se utiliza como fuente de P₂O₅ o K₂O.

Martí et al. (2002), en su artículo científico, Metales pesados en fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados y Mixtos, cuantificaron los niveles de metales contaminantes: Pb y Cd, en fertilizantes de uso común en Mendoza (Argentina). Analizaron 44 muestras de productos de empresas agroquímicas, donde los fertilizantes fosfatados representaron el 61%, seguidos por los nitrogenados con el 32%. Utilizando técnicas como Espectrofotometría de absorción Atómica y de llama aire-acetileno. Como resultado encontraron que todos los tipos de fertilizantes contenían niveles detectables de Pb y Cd, siendo los fosfatados los más contaminados, especialmente aquellos con alto contenido de fósforo como fosfatos amónicos y superfosfatos triples.

2.1.2. Nacionales

Zapata y Medina (2024), realizaron estudios para evaluar los niveles de contaminación por metales pesados (plomo, cadmio y cobre) y el riesgo asociado para la salud humana en Carapongo, Lima. Se utilizó un enfoque cuantitativo y el muestreo se realizó de acuerdo con el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM,



utilizando Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) para el análisis de los metales. Los resultados mostraron que las concentraciones de plomo (157.83 mg/kg), cadmio (6.86 mg/kg) y cobre (93.22 mg/kg) superaron los límites permitidos por las normativas de calidad del suelo.

Fuentes (2023), investigó el impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en la capa arable de suelos cultivados en el Valle de Ica, Perú. Se delimitó cuatro áreas de estudio: la zona alta, media y baja del Valle de Ica, y Villacurí. Se aplicó un muestreo de suelos a dos profundidades (0,00 m – 0,30 m y 0,30 m – 0,60 m) en cada zona, con 40 escenarios de análisis. Las muestras fueron enviadas a la UNALM para determinar la concentración de cadmio. Los resultados de cadmio indicaron que los suelos de la zona baja presentaron una concentración promedio de 4,993 mg/kg, mientras que los de Villacurí tuvieron un promedio de 1,377 mg/kg.

Rosales et al. (2021), en su artículo determinaron las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en los suelos de cultivos de cacao tipo forastero en la región de Satipo-Junín, Perú. Para ello, se recolectaron muestras de suelos de diferentes puntos de cultivo en la zona de estudio. Las muestras fueron sometidas a un proceso de extracción con ácido clorhídrico (HCl) y luego se analizaron mediante Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) en un laboratorio certificado. Los resultados mostraron que las concentraciones de cadmio fueron menores a 0,5 mg/kg y las concentraciones de plomo fueron inferiores a 1 mg/kg, ambos valores estando por debajo de los límites establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente (MINAM), que son 1 mg/kg para Cd y 2 mg/kg para Pb.



Ramirez (2016), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar física, morfológicamente y taxonómicamente los suelos, establecer su relación con el grado de desarrollo y uso potencial. La metodología empleada se basó en el *Soil Survey Manual* (1993) y la clasificación taxonómica según *Soil Taxonomy* (2014), además de utilizar el método multivariable (MINAM, 2011) para determinar la susceptibilidad de los suelos al deterioro. Se identificaron 17 series de suelos, de las cuales uno perteneció al orden Entisols, 13 a Inceptisols y tres a Ultisols. Los resultados mostraron que los suelos más desarrollados correspondieron a los del orden Ultisols, mientras que los de Inceptisols y Entisols presentaron menor grado de evolución.

Tello et al. (2018), en su artículo de investigación el estudio de cuantificar el contenido de plomo en los suelos de los Grandes Parques de Lima Metropolitana (GPLM), evaluando el riesgo para la salud de los usuarios. La metodología incluyó muestreos para análisis físico-químicos (textura, pH, conductividad, materia orgánica, capacidad de intercambio) y análisis de plomo total. Los resultados mostraron que los parques Bosque El Olivar (170 ppm), Campo de Marte (226 ppm) y Pentagonito (159 ppm) superaron el límite de 140 ppm establecido por los Estándares de Calidad Ambiental de Perú. En Las Leyendas y el Zoológico de Huachipa, algunas áreas también superaron el límite, mientras que el parque Kennedy no presentó niveles elevados de plomo.

Llamoja (2023), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar la génesis, morfología y clasificación de los suelos, analizando los procesos de formación según litología y propiedades físico-químicas. Se evaluaron 1991 hectáreas, en suelos con origen fluvial (10,65%) y residuales de



las formaciones Ipururo y Chambira (86,31%). Se describieron 12 perfiles morfológicos con horizontes A/Bw/Bwt/C, y los minerales predominantes fueron montmorillonita, vermiculita y caolines. Según la clasificación USDA (2022), los suelos fueron clasificados como Entisols (8,33%), Inceptisols (46,84%), Alfisols (32,35%) y Ultisols (9,45%). Estos resultados proporcionan una comprensión detallada de la variedad de suelos en la región y su comportamiento, contribuyendo al conocimiento y manejo de los suelos en la Amazonía peruana.

Cusi (2021), en su trabajo de investigación evaluó la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Solanum tuberosum* L. cultivada en suelos contaminados de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito. Se analizaron muestras de la capa superficial del suelo para determinar su contenido de Pb y Cd, y se sembraron tubérculos en macetas de 10 kg, con tres repeticiones por tratamiento. Los resultados mostraron que los niveles de Pb y Cd superaron los límites permisibles, concentrándose principalmente en las raíces. En Huancaní, la materia seca disminuyó significativamente debido a la alta concentración de metales. El Factor de Bioconcentración (FBC) para Pb fue inferior a 1, mientras que para Cd fue alto en El Mantaro ($FBC > 1$). El Factor de Translocación (FT) fue mayor para Pb en El Mantaro ($FT = 1.4$) y para Cd en Mito ($FT = 1.3$). Estos resultados indican que la papa actúa principalmente como fitoestabilizadora, concentrando los metales en las raíces, lo que resalta la gravedad de la contaminación por Pb y Cd en los suelos.

Lopez et al. (2020), en su artículo científico cuantificaron los metales pesados arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) en tres variedades de papa (Huayro, Canchán y Amarilla) provenientes de la provincia de



Ambo, Huánuco. Se recolectaron 15 muestras de cada variedad, sumando un total de 45 ejemplares. La metodología consistió en el análisis de estos metales en las muestras de papa utilizando técnicas de espectrometría. Los resultados mostraron que el Hg superó el Límite Máximo Permisible (LMP) de la Unión Europea (0.02 mg/kg), mientras que el Cd y el As estuvieron por debajo de los LMP establecidos por Codex Alimentarius y Mercosur. El Pb en las variedades Canchán y Huayro estuvo dentro de los límites, pero fue superior en la variedad Amarilla (19 mg/kg), es por ello que destaca la importancia de controlar la contaminación del suelo para evitar la acumulación de metales pesados en los cultivos.

Lavado (2017), en su trabajo de investigación cuantifico la concentración de plomo y cadmio en quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) expendida en Lima Metropolitana”, se recolectaron 10 muestras de quinua de diversas variedades comercializadas en Lima para medir la concentración de Pb y Cd. La metodología empleada fue mediante técnicas analíticas de espectrometría. El nivel promedio de Pb fue de 0.22 mg/kg y el de Cd de 0.11 mg/kg, superando los Límite Máximos Permisibles (LMP) de la Unión Europea y Mercosur. El 50% de las muestras excedieron estos límites. El coeficiente de correlación de Pearson entre ambos metales fue de 0.4737, sugiriendo una relación moderada entre su concentración. Los resultados resaltan la preocupación sobre la contaminación de suelos y la acumulación de metales pesados en cultivos, lo que podría afectar la salud pública.

2.1.3. Locales

Moya (2024), en su trabajo de investigación, Clasificación y evaluación de la calidad de los suelos de la Estación Experimental Agraria Illpa - INIA, Puno, su objetivo principal fue evaluar el estado de los suelos mediante la calidad



química y física, la caracterización y clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy y la WRB. Se utilizó el reglamento de levantamiento de suelos del Perú para la clasificación, encontrando que los suelos fueron clasificados como Mollisol e Inceptisol según la Soil Taxonomy, y Phaeozem y Cambisol según la WRB. En cuanto a la calidad de la materia orgánica, se aplicó el método Nagoya, revelando que los suelos Peaje y Río mostraron una calidad buena, mientras que los suelos Carretera Profundo, Waru Waru Antiguo y Waru Waru Reciente presentaron una calidad media.

Sardón (2023), tuvo en su trabajo de investigación el objetivo de clasificar los suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata, así como la determinación de cuál de los dos métodos de extracción era más eficaz para evaluar la disponibilidad de P. La metodología consistió en la aplicación de los métodos Bray II y Olsen, y los resultados fueron analizados mediante un Diseño Completamente al Azar. Los resultados mostraron que el suelo del CE Illpa fue clasificado como Mollisol, un tipo de suelo que destacó por requerir el método de extracción Olsen para obtener resultados más precisos en la medición del fósforo disponible. En contraste, los suelos de EEA Moquegua y CE Tambopata fueron clasificados como Inceptisol, con el método Bray II siendo más efectivo en estos casos.

Andrade et al. (2020), en su artículo de investigación tuvieron como objetivo determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd y As) en suelos agrícolas y suelos destinados al cultivo de *Solanum tuberosum* en la Bahía Interior de Puno. Las muestras de suelo fueron analizadas mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para cuantificar



los elementos traza. Los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros establecidos en los ECA para suelos según el D.S.N° 011 – 2017 MINAM y el CCME. Los resultados revelaron que los suelos en estudio presentan contaminación por plomo (505.2 mg/kg) y arsénico (40.19 mg/kg), superando los límites establecidos, lo que indica la necesidad de una remediación urgente, ya que, debido a la proximidad de la laguna de oxidación, que se considera la principal fuente de contaminación, además de la influencia de actividades antropogénicas en la zona.

Vargas (2017), en su trabajo de investigación fue evaluar la contaminación por metales pesados en suelos con y sin riego, comparándolos con los estándares nacionales establecidos por decretos del MINAM. Donde se establecieron puntos de muestreo en parcelas de cultivo de avena, tomándose muestras aleatorias para análisis en laboratorio. Los resultados mostraron que los suelos de la serie Titicaca y Calapuja con riego superaron los límites permisibles para arsénico, cadmio, plomo y zinc según la normativa ECA, mientras que los suelos sin riego estuvieron dentro de los límites permitidos. Los niveles de metales pesados en los cultivos de alfalfa y avena también variaron, destacando la presencia de mercurio y cadmio por encima de los límites en algunos casos.

Asqui (2018), realizó la investigación de Efecto de encalado en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) Var. Imilla negra en un suelo ácido del CIP. Camacani - Puno, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la roca travertino en suelos ácidos, caracterizados por altos niveles de Aluminio, Hierro y Manganeso, y bajos niveles de Calcio y Magnesio debido a la meteorización de rocas ácidas y prácticas agrícolas anteriores. Se utilizó un diseño de bloque



completamente al azar con cinco dosis de encalado (0.0, 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq Ca^{++} /100 gr suelo) y cuatro repeticiones, complementado con estiércol de ovino a razón de 2 tn/ha. Los resultados mostraron mejoras significativas en las características químicas del suelo, como pH, nitrógeno total, potasio disponible y calcio cambiante, especialmente con la dosis más alta de 4.5 meq Ca^{++} /100 gr suelo. Además, se observó una reducción en los niveles de Aluminio y Hierro con la aplicación de roca travertino, lo cual benefició el rendimiento alcanzando un máximo de 41,700.50 kg/ha con la dosis óptima.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Factores formadores del suelo

Dokuchaev, considerado el padre de la ciencia del suelo, fue el primero en sostener que los suelos se forman a partir de cinco factores fundamentales: clima, organismos, material parental, relieve y tiempo (Jenny, 1941). Estos factores proporcionan los elementos y la energía necesarios para impulsar los procesos pedogénéticos en el suelo (Buol et al., 2011).

2.2.2. Suelo

El suelo es un sistema natural tridimensional que se desarrolla en la superficie terrestre como resultado de la interacción de varios factores, como el clima, la biota, el relieve, los materiales parentales y el tiempo (Schaeztl y Anderson, 2005). Este sistema está formado por una mezcla de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, ocupa un volumen de espacio y se distingue por la presencia de capas u horizontes que han sido modificados por procesos de adición, pérdida, transferencia y transformación de materia y energía (Soil Survey



Staff, 1999). Su evolución a lo largo del tiempo se debe a las transformaciones químicas de los materiales terrestres que están relacionados con los ciclos biológicos del suelo y las raíces de las plantas energía (Sposito, 2016).

2.2.3. Procesos pedogenéticos

Los procesos pedogenéticos son una serie de transformaciones sucesivas que ocurren en el sistema y que resultan en la formación de suelos, organizándose según su influencia en el suelo (Porta et al., 2014). Estos procesos se clasifican en: adiciones, transformaciones, translocaciones y pérdidas (Jaramillo, 2014).

2.2.4. Unidad taxonómica y edáfica

Se refiere al nivel de clasificación dentro de un sistema taxonómico. Este concepto se utiliza para agrupar suelos de acuerdo con una categoría específica dentro de un sistema de clasificación. Cada categoría incluye suelos que comparten características comunes y están organizados al mismo nivel de generalización. En este contexto, se emplea el sistema de clasificación del Soil Taxonomy que está compuesto por seis categorías principales, pero para el presente proyecto de investigación se ha llegado hasta categorizar hasta el nivel de serie:

- **Orden:** Agrupa suelos que se distinguen por la presencia o ausencia de horizontes diagnósticos o por características que indican el grado y tipo de procesos formativos.
- **Suborden:** Esta categoría organiza los suelos según su homogeneidad genética, basándose en características asociadas con la humedad, el régimen de temperatura, el material parental y el estado de



descomposición de la vegetación. Los subórdenes son una subdivisión de los órdenes.

- **Gran grupo:** Agrupa suelos que comparten propiedades específicas, tales como:
 - Similitud en el arreglo, clase y grado de expresión de sus horizontes.
 - Similitud en los regímenes de humedad y temperatura.
 - Presencia o ausencia de horizontes diagnósticos, entre otros.
 - Similitud en el nivel de saturación de bases.

- **Subgrupo:** Agrupa suelos que presentan propiedades que, aunque subordinadas, son indicativas de procesos importantes en el desarrollo edáfico. Los subgrupos se dividen en tres clases:
 - El "concepto central", que es representativo del gran grupo.
 - Los "integrados", que son transiciones hacia otros órdenes, subórdenes o grandes grupos.
 - Los "extragrados", que tienen propiedades que no son representativas del gran grupo y no indican transiciones claras a otros suelos conocidos.

- **Familia:** Esta categoría agrupa suelos dentro de un subgrupo que tienen propiedades químicas y físicas similares, aunque difieren en su respuesta al uso y manejo.

- **Serie:** Es la unidad más específica de la Soil Taxonomy. Agrupa suelos que presentan una secuencia particular de horizontes y características edáficas similares, como profundidad, color, estructura, pH, contenido de arcilla, tipo de drenaje, entre otros.



2.2.5. Origen de los metales pesados

Los metales pesados en los suelos tienen varios orígenes. Según Alloway (1990), los elementos más abundantes en la corteza terrestre (como O, Si, Al, Fe, Ca, entre otros) constituyen más del 99% de los elementos, mientras que los "elementos traza" tienen concentraciones bajas, normalmente por debajo de 100 ppm. Estos elementos pueden encontrarse en minerales primarios de rocas ígneas, como la biotita, que puede portar cadmio (Cd).

Por otro lado, Galán y Romero (2008) identifican tres tipos de elementos traza en los suelos:

- Litogénicos o geogénicos, que provienen directamente de la litósfera, actividad volcánica o la meteorización.
- Pedogénicos, también de origen litogénico, pero modificados por procesos pedogénicos.
- Antropogénicos, que son resultado de actividades humanas como la industria, minería, agricultura, y residuos urbanos.

Los elementos antropogénicos tienen una mayor fitodisponibilidad que los litogénicos o pedogénicos, lo que los hace más móviles y biodisponibles en el suelo, incrementando su riesgo de contaminación. Los metales pesados pueden moverse a través del suelo por volatilización, disolución, lixiviado o erosión, y ser absorbidos por organismos cuando son solubles o disponibles.

2.2.6. Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que presentan un peso atómico elevado (generalmente superior a 63.5) y una densidad relativa mayor a



4 g/cm³. Se caracterizan por su persistencia en el ambiente, su capacidad de bioacumulación en organismos vivos y su toxicidad cuando se encuentran en concentraciones superiores a los niveles naturales. Dentro de este grupo se incluyen elementos como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), zinc (Zn) y cobre (Cu), entre otros (Rodríguez et al., 2006).

A pesar de que algunos de estos metales son esenciales en trazas para el metabolismo de plantas y animales, su acumulación excesiva puede generar efectos nocivos en la salud humana, en la microbiota del suelo y en el equilibrio de los ecosistemas. Su presencia en los suelos proviene tanto de fuentes naturales (como la meteorización de rocas) como de fuentes antropogénicas, incluyendo actividades industriales, agrícolas, mineras y urbanas. Debido a su no biodegradabilidad, los metales pesados tienden a acumularse en los horizontes superficiales del suelo, afectando sus propiedades físico-químicas y su aptitud agrícola (Rodríguez et al., 2006).

Los metales pesados se pueden clasificar en dos categorías principales:

A.- Oligoelementos o Micronutrientes: Son necesarios en pequeñas cantidades para plantas y animales para completar su ciclo vital. Sin embargo, cuando se superan ciertos umbrales, pueden volverse tóxicos. Entre ellos se encuentran el arsénico (As), bromo (Br), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn) (Nedelkoska y Doran, 2000).

B.- Metales pesados sin función biológica conocida: Estos metales no tienen una función biológica identificada en los seres vivos y, en concentraciones



altas, pueden ser muy tóxicos, además de acumularse en los organismos. Entre estos metales se encuentran el cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), antimonio (Sb) y bismuto (Bi) (Maqueda, 2003).

2.2.7. Suelo contaminado

Un suelo contaminado es aquel que ha experimentado alteraciones en sus propiedades físicas, químicas o biológicas, de tal manera que, debido a su naturaleza, extensión o persistencia, ya no es adecuado para su uso habitual o representa un riesgo significativo para la salud pública o el medio ambiente (Fernández y García, 2013).

2.2.8. Contaminación de los suelos por actividad agrícola

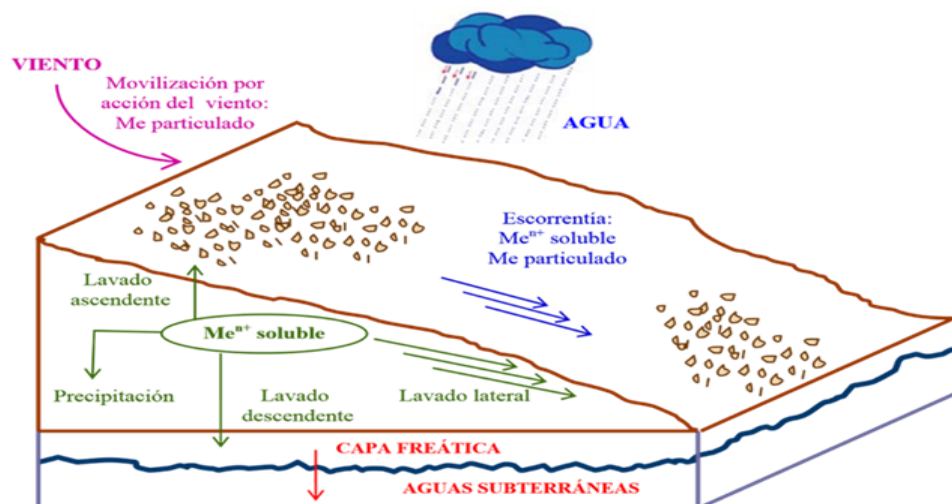
La actividad agrícola y pecuaria puede aumentar la concentración de cadmio en el suelo, afectando su distribución por acción de agentes hídricos y eólicos. En la agricultura, el uso de pesticidas y fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, es de particular relevancia. Aunque la materia orgánica, promovida por corrientes ecológicas, mejora las características del suelo y favorece los rendimientos agrícolas, puede también introducir contaminantes, especialmente si proviene de lodos o compost derivados de residuos urbanos o industriales. Dependiendo de su origen, la materia orgánica puede tener efectos contradictorios en la disponibilidad del cadmio: mientras que puede complejarlo y reducir su movilidad, también puede mineralizarse, liberando el metal y haciéndolo más accesible para las plantas (Herrera, 2000).

2.2.9. Movilidad natural de los metales pesados

La movilización de los metales pesados en los suelos de manera natural es el resultado de diversos factores, como la actividad biológica, las interacciones entre sólidos y líquidos, y la influencia del agua (Bourg, 1995). Esta movilización puede ocurrir a través del agua, tanto en forma soluble como particulada, o por el viento, transportando partículas (Figura 1).

Figura 1

Movilización natural de metales pesados por acción del viento y el agua



Nota: Adaptado de García y Dorronsoro (2005).

2.2.10. Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado que se encuentra comúnmente en forma de polvo o soldaduras. Este metal de número atómico 48 y peso atómico 112.41, tiene un aspecto plateado y es relativamente maleable. Aunque es resistente a la corrosión, el cadmio es altamente tóxico y puede ser absorbido por organismos vivos. En su forma iónica, el cadmio puede formar compuestos como sales y óxidos, que se disuelven con facilidad en soluciones ácidas. Su comportamiento

en el medio ambiente depende de la acción de factores como la humedad y el pH del suelo, los cuales influyen en su movilidad y biodisponibilidad (Alloway, 1995).

2.2.11. Origen natural del cadmio

El cadmio es un componente natural en los suelos, con concentraciones promedio que varían entre 0.07 y 1.1 ppm, aunque los niveles pueden aumentar debido a factores antropogénicos (Kabata-Pendias, 1984).

La concentración de cadmio en los suelos depende de la composición de la roca madre y los procesos de meteorización y pedogénesis, con suelos de rocas sedimentarias teniendo niveles más elevados debido a su mayor capacidad para adsorber metales (Alloway, 1990). En suelos derivados de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, las concentraciones de cadmio varían entre 0.07 y 2.60 mg/kg, siendo los suelos más contaminados los que provienen de materiales parentales con altos niveles de cadmio (Tabla 1).

Tabla 1

Concentración de cadmio en diferentes tipos de rocas

Rocas	Concentración de Cd (mg/kg de roca)
Sedimentarias	0.01 - 2.60
Metamórficas	0.11 - 1.00
Ígneas	0.07 - 0.25

Nota: Adaptado de Smolders y Mertens (1990).

2.2.12. Origen antropogénico del cadmio

El cadmio en los suelos también puede tener un origen antropogénico, estando presente en mayor concentración en los horizontes superficiales debido a la deposición atmosférica, fertilizantes (orgánicos e inorgánicos), y

contaminación por aguas contaminadas de ríos, como en el caso del suelo aluvial del Alto Huallaga (Alloway, 1990). Las fuentes principales de metales pesados en el suelo incluyen la polución del aire por vehículos motorizados, la quema de combustibles fósiles, y el uso de fertilizantes y pesticidas agrícolas, especialmente los fertilizantes fosfatados. Estos fertilizantes, junto con los lodos de depuradoras y estiércoles, son una fuente significativa de cadmio, que es más disponible en los horizontes superficiales del suelo. La absorción del cadmio por las plantas depende de factores del suelo y cultivo, siendo más alta cuando las condiciones favorecen la movilidad del metal en el suelo (Herrera, 2000).

2.2.13. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos del Cd

El uso de fertilizantes puede aumentar la concentración de metales pesados en el suelo, alcanzando niveles tóxicos, ya que estos productos pueden contener impurezas de metales pesados que se vuelven accesibles para las plantas (Prieto et al., 2009). En la Tabla 2 se muestran los aportes de cadmio provenientes de diversas fuentes agrícolas, según lo informado por diferentes autores.

Tabla 2

Aporte estimado de Cd (mg/kg) a suelos agrícolas por diferentes fuentes

Fuentes		Cd (mg/kg)	
Fertilizantes fosfatados	0.1 – 170*	0.1 – 170**	-
Fertilizantes nitrogenados	0.05 – 8.5	0.05 – 8.5	-
Fitosanitarios	-	1.38 – 1.94	-
Estiércoles	0.1 – 0.8	0.3 – 0.8	-
Basura compostada	0.01 – 100	-	-
Lodos de aguas residuales	< 1 – 3410	2 – 1500	-
Guano bovino	-	-	0.44***
Guano de pollo	-	-	0.25 – 0.36
Guano de cerdo	-	-	0.43 – 0.68

Nota: (*) (Alloway, 1990).

(**) Sánchez (2003) citado por Rueda et al., (2011).

(***) Diferentes fuentes mencionadas en Eurich et al., (1996).



2.2.14. Absorción y acumulación del Cadmio en las plantas

El Cd es uno de los metales pesados más móviles en el suelo, lo que facilita su absorción por las raíces de las plantas, especialmente en suelos con pH ácido, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y escaso contenido de materia orgánica. En su forma iónica (Cd^{2+}), el cadmio ingresa a las células radiculares a través de canales de transporte similares a los del zinc y calcio (Alloway, 2013).

Una vez absorbido, el Cd se transloca a través de la xilema hacia los órganos aéreos, acumulándose preferentemente en hojas y tallos, aunque también puede estar presente en raíces y, en menor medida, en frutos o partes comestibles. Esta acumulación depende del tipo de planta, el estado fenológico y las condiciones edáficas. Es por ello, que afecta negativamente diversos procesos metabólicos, inhibe enzimas, interfiere con la fotosíntesis y altera la absorción de nutrientes esenciales, lo que genera efectos fitotóxicos incluso a bajas concentraciones (Alloway, 2013).

2.2.15. Plomo

El plomo, cuyo símbolo químico es Pb, tiene un número atómico de 82 y un peso atómico de 207.19. Este elemento químico es un metal pesado de color azulado, que con el tiempo se oscurece y adquiere un tono gris mate. Es flexible, inelástico, se funde fácilmente y tiene una relativa resistencia a los ataques de los ácidos como: sulfúrico y clorhídrico. Sin embargo, se disuelve lentamente en ácido nítrico. Además, el plomo es un elemento anfótero, lo que significa que puede formar tanto sales con ácidos como sales metálicas con el ácido plúmbico, además de óxidos y compuestos organometálicos (Atkins, 2006).



2.2.16. Solubilidad del Plomo en suelos ácidos

En suelos con pH bajo (ácidos), el plomo se vuelve más soluble. Esto se debe a que, en condiciones ácidas, el plomo se presenta principalmente en su forma iónica (Pb^{2+}), lo que facilita su disolución en la solución del suelo. A su vez, el plomo no se precipita en compuestos insolubles como los carbonatos o fosfatos que se forman en suelos más alcalinos. Como resultado, el plomo está más disponible en su forma soluble para las plantas (Mcbride, 1994).

2.2.17. Relación suelo – planta del plomo

En suelos ácidos, el plomo también interactúa con la materia orgánica del suelo, donde se forma un complejo con las fracciones húmicas. Este enlace es fuerte, lo que significa que el plomo se mantiene más ligado a la materia orgánica en suelos con pH bajo. Esto aumenta la solubilidad del plomo y su disponibilidad para ser absorbido por las plantas (Christl et al., 2001).

2.2.18. Absorción y acumulación del Plomo en las plantas

El plomo presenta baja movilidad dentro de la planta. Su absorción ocurre principalmente a nivel radicular, pero una gran proporción del Pb absorbido queda retenida en las paredes celulares de las raíces, formando complejos con pectinas, fosfatos y compuestos fenólicos. Debido a esta retención, el Pb pocas veces se transloca al tallo, hojas o frutos, y cuando lo hace, es en cantidades mínimas. La limitada movilidad del plomo se debe a su baja solubilidad en la solución del suelo y su alta afinidad por los coloides del suelo. Esto lo convierte en un metal persistentemente localizado en la rizosfera (Tello., 2015)..



Sin embargo, en suelos altamente contaminados o con condiciones químicas que favorecen su solubilización (como pH bajo), el Pb puede ser absorbido en mayores proporciones, afectando la fisiología vegetal y representando un riesgo potencial en cultivos alimenticios (Tello., 2015).

2.2.19. Factores que afectan la disponibilidad del cadmio y plomo en el suelo para su absorción de las plantas

Los factores que afectan la disponibilidad y absorción de metales pesados como el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) en el suelo incluyen características del suelo como el contenido de los metales, pH, capacidad de adsorción, condiciones redox, y la presencia de carbonatos y otros elementos (Prieto et al., 2009).

- Contenido de Cd en el suelo: La cantidad total de Cd en el suelo es uno de los mayores factores que afecta su absorción por las plantas. Cuanto mayor es el contenido de Cd, mayor es su concentración en las plantas (Alloway, 1990).
- Potencial hidrogeno: A pH bajo, los metales tienden a ser más móviles, existiendo principalmente como especies iónicas libres o como compuestos solubles de metales orgánicos (Alloway, 2013). En condiciones de pH alcalino, estos metales se combinan formando carbonatos o fosfatos minerales insolubles.
- Capacidad de adsorción: La capacidad de intercambio iónico (CIC) de los suelos influye en la disponibilidad de metales pesados. Los suelos con alta CIC retienen más metales, reduciendo su disponibilidad para las plantas (Alloway, 1990). La materia orgánica también juega un papel importante,



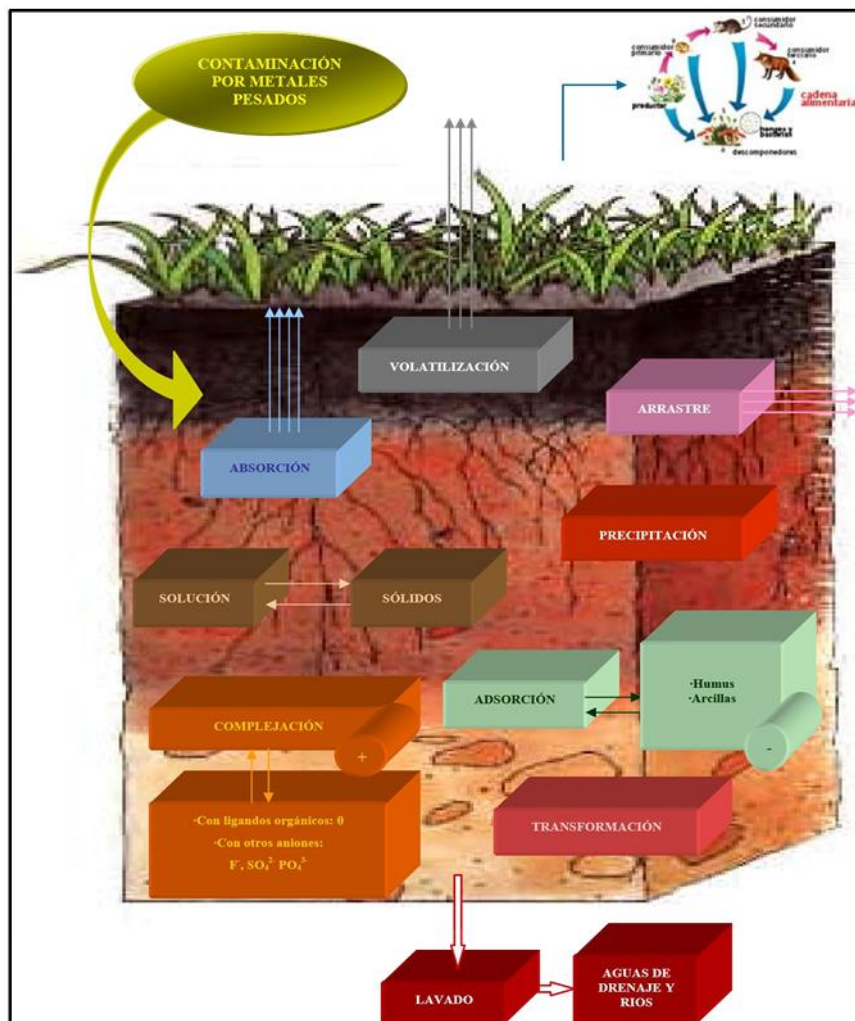
ya que adsorbe metales, aunque al descomponerse puede liberar metales de nuevo al suelo.

- Condiciones redox: En suelos inundados o anóxicos, como los arrozales, la reducción de Cd se minimiza debido a la formación de CdS, que no es fácilmente absorbido por las plantas (Kirkham, 2006).
- Carbonatos: La presencia de carbonatos en el suelo, como CaCO₃, puede reducir la disponibilidad de Cd al adsorberlo. La adición de cal (CaCO₃) en suelos contaminados disminuye la absorción de Cd por las plantas (Contreras et al., 2005).
- Efecto de otros elementos: Elementos como Cu, Ni, Mn, y Zn pueden influir en la absorción de Cd. Por ejemplo, el Zn puede reducir la absorción de Cd en suelos con bajas concentraciones de Cd, mientras que en suelos con alta concentración de Cd, su efecto puede ser sinérgico o neutro (Mengel y Kirkby, 2000).

Asimismo, en la Figura 2, se muestra de forma esquemática la dinámica de los metales pesados en el suelo natural, incluyendo su adsorción, movilización, interacción con componentes edáficos y su eventual absorción por las plantas.

Figura 2

Dinámica de los metales pesados en el suelo natural



Nota: Adaptado de García y Dorronsoro (2005).

2.2.20. Efecto del cadmio y plomo en la salud humana

El cadmio puede causar alteraciones en los huesos, como osteomalacia y osteoporosis, debido a su interferencia con el metabolismo del calcio, la vitamina D y el colágeno, lo que aumenta el riesgo de fracturas. Además, el cadmio puede ser absorbido por los cultivos cuando se utiliza fertilización fosfatada, y eventualmente llega a los seres humanos a través de la alimentación. Un ejemplo



notorio es la enfermedad "Itai-Itai" en Japón, causada por el consumo prolongado de arroz contaminado con cadmio (Staessen et al., 1999).

Por otro lado, el plomo es altamente tóxico, especialmente para los niños, y puede afectar el desarrollo cognitivo y motor. La exposición prolongada al plomo daña el sistema nervioso, los riñones y el sistema cardiovascular. La intoxicación por plomo suele ocurrir por ingestión de alimentos o agua contaminada, o por exposición al aire o polvo que contiene plomo. Aunque los síntomas inmediatos pueden no ser evidentes, la acumulación crónica del metal en el cuerpo puede tener efectos severos en la salud a largo plazo (Carrasco, 1994).

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. Estándares de Calidad Ambiental para suelos (ECAs)

- Fueron establecidos por el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, los Estándares de Calidad Ambiental. El ECA se define como el nivel máximo de concentración o grado de sustancias, elementos o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo, en su condición de receptor, que no representen un riesgo significativo para la salud humana ni para el medio ambiente. Estos estándares fueron aprobados mediante la política ambiental contenida en el DS N.° 002-2013-MINAM. Posteriormente, a través del DS N.° 002-2014-MINAM, se aprobaron disposiciones complementarias para su aplicación, las cuales forman parte de los lineamientos para la gestión integrada de la calidad ambiental, enfocados en el control de la contaminación y la preservación de la calidad del suelo



mediante parámetros de contaminación (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Mientras en la (Tabla 3) se observa los ECAs establecidos para suelos agrícolas.

Tabla 3

Estándares de evaluación de suelos contaminados por metales pesados

Parámetros	Uso de suelos (uso agrícola)
Cadmio (mg/kg MS)	1,4
Plomo (mg/kg MS)	70
Zinc (mg/kg MS)	150-300**
Mercurio (mg/kg MS)	6,6
Arsénico (mg/kg MS)	50

Fuente: DS. N° 011-2017-MINAM.

** UE = Estándares de la Comunidad Europea

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

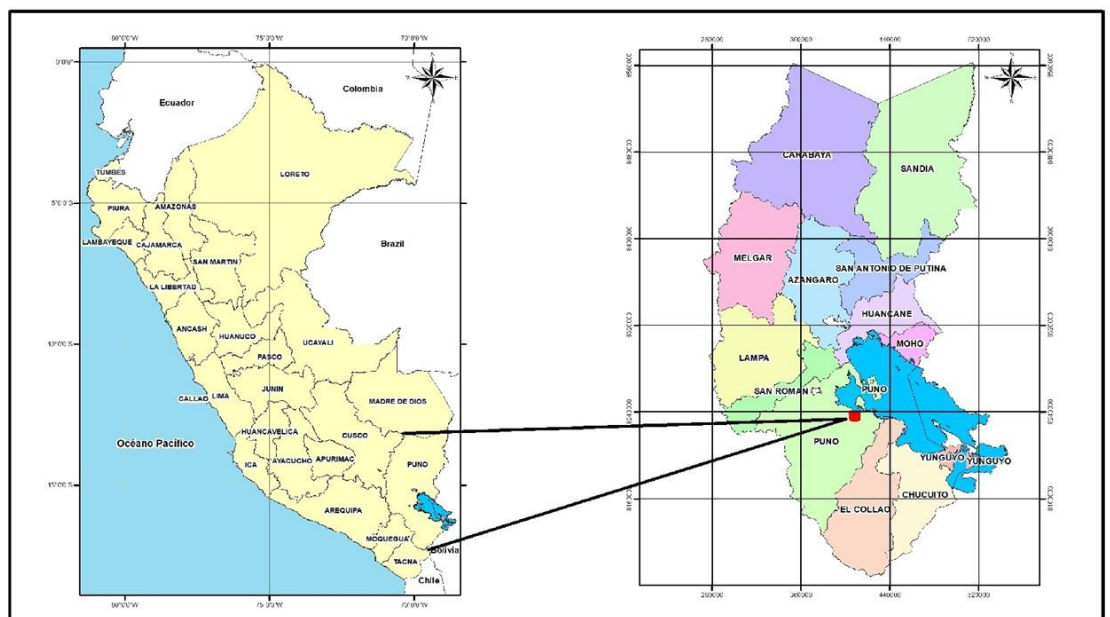
3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación del trabajo de investigación

La investigación se realizó en el Centro Experimental Camacani (C.E.) de la Universidad Nacional del Altiplano, a 25.4 kilómetros de Puno, ubicado en el Centro Poblado de Camacani, distrito de Platería, en la provincia y departamento de Puno (Figura 3).

Figura 3

Mapa de ubicación del Centro Experimental Camacani





3.1.1.1. Ubicación geográfica

En la tabla 4, se observa la ubicación exacta mediante las siguientes coordenadas.

Tabla 4

Coordenadas geográficas de la ubicación

Lugar	Coordenadas geográficas	
Camacani	Latitud Sur	15°56'53.9''
	Longitud Oeste	69°51'28.9''
	Altitud	3869 m.s.n.m.

3.1.1.2. Clima y zonas de vida

Según el mapa bioclimático de Holdridge, la biotemperatura media anual máxima es de 12.9 °C, la media anual mínima, de 6.5 °C y la media promedio es 9.7 °C, mientras que el promedio máximo de precipitación total por año es de 1,119 mm, el promedio mínimo es 410 mm y el promedio anual 764.5 mm, siendo clasificado como bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS) (Holdridge, 1967; Odum y Barrett, 2006).

3.1.1.4. Vías de comunicación y accesibilidad

En la tabla 5, se observa la ruta de comunicación desde Puno hacia el Centro Experimental Camacani:



Tabla 5

Vías de accesibilidad al área de estudio

Partida	Llegada	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Puno	Desvío Camacani	25.4 km	38 mins	Carretera asfaltada	Ómnibus
Desvío Camacani	C.E. Camacani	1.85 km	15 mins	Trocha carrozable	A pie

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales de campo

- Cuaderno de campo
- Tabla Munsell
- Picos
- Pala
- Barreta
- Cuchillo suelero
- Bolsa de plástico (ziploc) para recojo de muestras
- Marcadores
- Lápiz
- Cinta de embalaje
- Flexómetro
- Pizarra
- Cinta métrica
- Picota



- GPS
- Mapa de distribución del estudio
- Tablero de campo
- Tarjeta de descripción de muestras
- Guía de descripción de suelos
- Cámara digital

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación que se llevó a cabo fue por un enfoque no experimental, específicamente de tipo transeccional y con carácter descriptivo.

La investigación no experimental se enfoca en observar los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin intervenir o generar situaciones específicas. En el enfoque transeccional se estudian los datos que se recolectan en un solo momento, en un tiempo determinado, con el objetivo de describir y verificar las hipótesis planteadas (Hernandes et al., 2014).

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Metodología para la determinar los elementos de Cadmio y Plomo en diez parcelas del C.E. Camacani – Puno

3.4.1.1. Diseño del muestreo

Para obtener datos de concentración de metales pesados en las diferentes parcelas del C.E. Camacani, se realizó un muestreo en 10



parcelas distribuidas en diferentes áreas del centro. Estas parcelas fueron seleccionadas en áreas donde se realiza la agricultura (Tabla 6).

Tabla 6

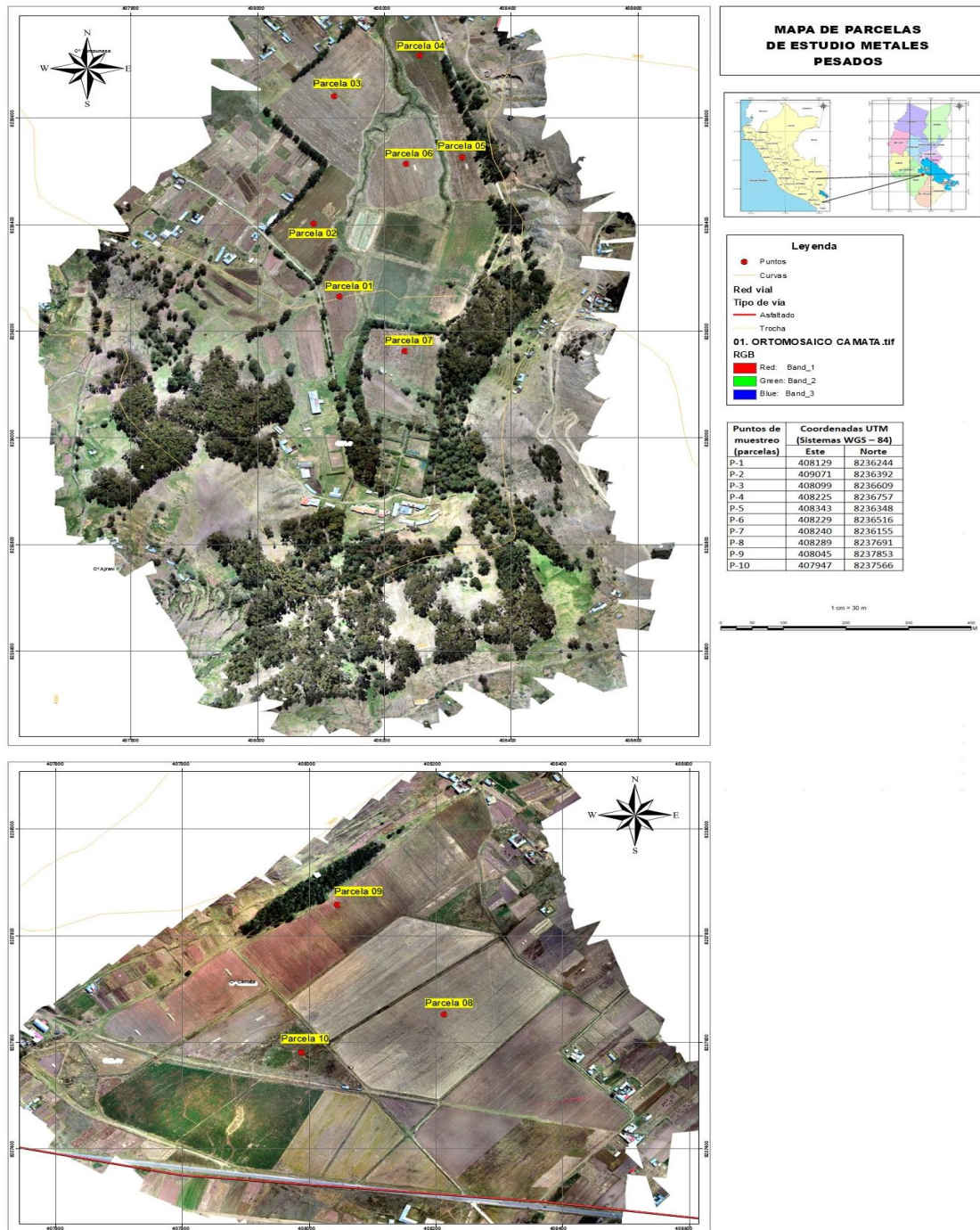
Ubicación de puntos de muestreo en el epipedón de diez parcelas

Puntos de muestreo de parcelas	Uso Actual de Tierras	Coordenadas UTM (Sistemas WGS - 84)	
		Este	Norte
P-1	Papa	408129	8236244
P-2	Avena	409071	8236392
P-3	Tarwi	408099	8236609
P-4	Avena	408225	8236757
P-5	En descanso	408343	8236348
P-6	Alfalfa	408229	8236516
P-7	Papa	408240	8236155
P-8	Avena	408289	8237691
P-9	Avena	408045	8237853
P-10	En descanso	407947	8237566

Así mismo, en la Figura 4 se presenta el mapa con la ubicación geográfica de los puntos de muestreo establecidos en las zonas de Camacani y Camata, correspondientes a las parcelas seleccionadas para el estudio de concentración de metales pesados en el suelo.

Figura 4

Mapa de parcelas de estudio de Cadmio y Plomo



3.4.1.2. Submuestreo aleatorio en Zigzag

Dentro de cada parcela, se realizó un submuestreo aleatorio, utilizando un patrón en zigzag para garantizar que la muestra abarcara toda



la heterogeneidad del terreno. Se tomaron entre 12 a 15 submuestras por la variación de áreas de cada parcela, asegurando que se recogiera una representación adecuada de la variabilidad del suelo en cada uno de los puntos de muestreo.

3.4.1.3. Método de cuarteo

Una vez recogidas las submuestras de cada parcela, se procedió a la homogenización de las muestras, y se utilizó el método de cuarteo para tener muestra de 1 kg. aproximadamente en una parcela.

3.4.1.4. Análisis de caracterización del suelo

Las muestras representativas de cada parcela fueron obtenidas a través del proceso de cuarteo y se llevaron las muestras para el análisis físico-químico al laboratorio del INIA – Salcedo.

3.4.1.5. Análisis y determinación de metales pesados

Para analizar y determinar los metales pesados de los suelos y sedimentos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad San Andrés de Bolivia,

Asimismo, con los resultados obtenidos se realizó la clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy en dos parcelas con mayor y menor concentración de Cd y Pb.

Los metales pesados se determinaron según las siguientes metodologías (Tabla 7):

Tabla 7*Métodos de análisis de Cadmio y Plomo*

Metales pesados	Método
Cadmio Total	Microwave Reaction System / EPA213.1
Plomo Total	Microwave Reaction System/EPA 239.2

3.4.1.6. Metodología de la Espectrometría de Absorción Atómica

La determinación de la concentración de metales pesados (Cd y Pb) se realizó mediante Espectrometría de Absorción Atómica (AAS), procedimiento efectuado en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés, en función de protocolos estandarizados.

a) Preparación de muestras en análisis químico

Las muestras de suelo, previamente secadas a **105 °C**, fueron tamizadas utilizando una **mallá N°10 (2 mm)** para obtener una granulometría uniforme y adecuada para el análisis químico. Posteriormente, se trasladaron al laboratorio para su análisis.

b) Análisis de suelos con metales pesados

Para cada muestra, se pesaron 2,00 g de suelo, a las cuales se adicionaron 20 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado. La mezcla fue calentada a 100 °C durante 16 horas, promoviendo la oxidación de la materia orgánica y la liberación de los metales pesados. Una vez completada la



digestión y enfriada la solución, se aforó a 100 mL con agua destilada y se filtró.

Las determinaciones de Cd y Pb fueron realizadas utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 300, siguiendo las metodologías descritas por (Willard y Merritt, 1979).

3.4.2. Metodología para la caracterización y clasificación según la Soil Taxonomy de dos suelos con mayor y menor presencia de Cd y Pb en el C.E. Camacani – Puno

Para realizar la caracterización y clasificación de los suelos, se empleó el enfoque metodológico basado en la variación espacial de la concentración de Cd y Pb según los resultados obtenidos del primer objetivo de estudio. Para ello, se seleccionaron dos parcelas contrastantes:

- Punto 2 (Potrero Kallanka Esquina): Parcela con la mayor concentración de cadmio (1.3 mg/kg), bajo cultivo de avena.
- Punto 9 (Potrero 3 Camata): Parcela con la menor concentración de cadmio (0.87 mg/kg), también cultivo de avena.

Aunque otras parcelas, como P-10, presentaron niveles más altos de plomo (hasta 136 mg/kg), la selección de calicatas se centró principalmente en el (Cd) por razones técnicas y edafotoxicológicas. El cadmio es un metal pesado altamente móvil en suelos ácidos, presenta alta biodisponibilidad y es más fácilmente absorbido por las plantas, lo que representa un riesgo directo para la seguridad alimentaria (Kabata-Pendias, 2011; FAO, 2003). En contraste, el plomo



es menos móvil, tiende a retenerse fuertemente en los coloides del suelo y su transferencia a los cultivos es generalmente menor en comparación al Cd.

Además, se priorizó la selección de parcelas con cultivo (avena), condiciones que no se cumplían en la parcela con mayor Pb (P-10), la cual se encontraba en condición de descanso.

Este enfoque permitió establecer un gradiente de contaminación por Cd, manteniendo constantes otras variables como el tipo de cultivo, manejo agrícola y con el fin de comparar su impacto en las propiedades y clasificación del suelo.

Para realizar el proceso de clasificación de suelos se siguió cinco fases secuenciales:

3.4.2.1. Recopilación de la información cartográfica y temática

Se llevó a cabo la recopilación, análisis, adaptación, caracterización y evaluación de la información disponible, que incluyó imágenes de Google Earth Pro versión 6.2 y Sistema de Información Geográfica.

3.4.2.2. Generación de la información temática

Las imágenes fueron procesadas mediante ajustes como la georreferenciación y el realce visual para extraer información útil para el análisis. La georreferenciación es clave, ya que asegura que las imágenes estén correctamente alineadas en el mismo espacio geográfico, evitando desplazamientos al empalmar las imágenes. Esto es evidente en elementos

como hidrografía, carreteras y montañas, que presentan características lineales (Cuarteto et al., 2003).

3.4.2.3. Generación de información de campo

Se llevaron a cabo los puntos de muestreo previamente establecidos en el gabinete. Se inició con el reconocimiento de la zona para identificar y ajustar los niveles fisiográficos, la vegetación y el uso actual del suelo, y se procedió con la apertura de calicatas de dimensiones específicas: 1.50 metros de longitud, 1.00 metro de anchura y 1.50 metros de profundidad. En estas calicatas, se identificaron y caracterizaron los horizontes según los lineamientos del (Soil Survey Manual, 1993). Las características internas evaluadas fueron: espesor, color, estructura (tipo, tamaño y grado), textura al tacto, fragmentos gruesos, consistencia, pH, porosidad, moteaduras y densidad aparente. Las características externas incluyeron el relieve y la vegetación. De cada horizonte se tomó muestras para la caracterización y clasificación.

Las coordenadas geográficas de las calicatas fueron registradas en UTM, como se detalla en la (Tabla 8).

Tabla 8

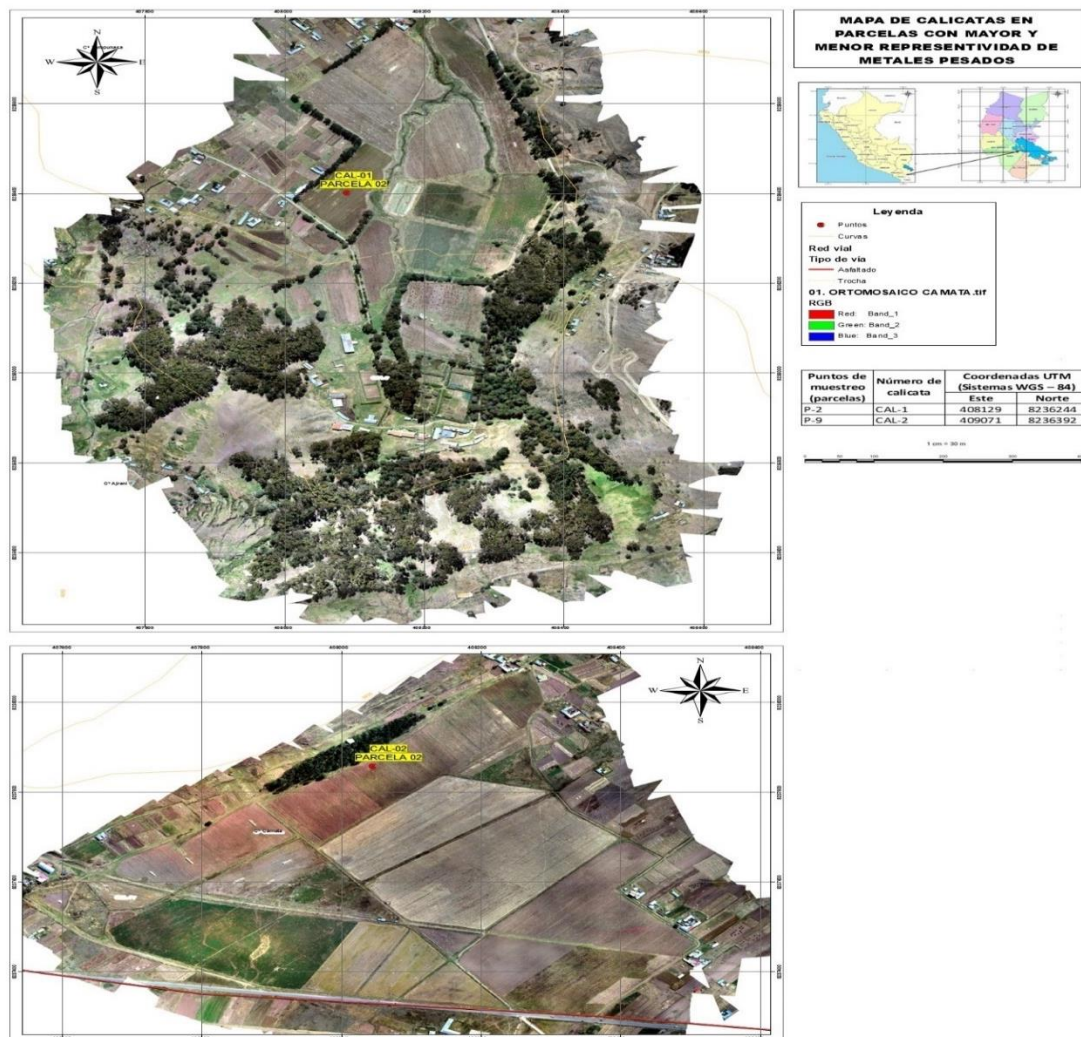
Ubicación de calicatas con mayor y menor presencia de Cd y Pb

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM (Sistemas WGS – 84)	
	Este	Norte
P-2	409071	8236392
P-9	408045	8237853

Mientras que en la Figura 5 se observa la ubicación de las calicatas seleccionadas en las parcelas con mayor (P-2) y menor (P-9) concentración de Cd y Pb.

Figura 5

Mapa de calicatas en parcelas con mayor y menor concentración de Cadmio y Plomo



3.4.2.4. Proceso de análisis de muestras de suelo

Las muestras de suelo, fueron remitidos al Laboratorio de Aguas, Suelos y Foliare del INIA Salcedo para la caracterización. Las muestras fueron secadas para luego ser pasadas por un tamiz de 2 mm de diámetro (USDA, 1996), para determinar lo siguiente:



- **Textura:** utilizando el método del hidrómetro de Bouyucos.
- **Materia orgánica:** utilizando el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1996).
- **Capacidad de Intercambio Catiónico:** empleando el método del acetato de amonio (NH₄OAc 1N, pH 7) (USDA, 1996).
- **pH:** determinado por la medida en el potenciómetro de suspensión de Suelo y Agua, con una relación 1:1.
- **Cationes cambiables:** mediante extracción con acetato de amonio a pH 7.0.
- **Fósforo disponible:** por el método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO₃ 0.5M.
- **Potasio disponible:** mediante extracción con acetato de amonio 1N pH 7.0. Lectura en espectrofotómetro.

En esta etapa se recopiló e interpretó las informaciones o datos de las etapas anteriores, para realizar la clasificación de suelos según la Soil Taxonomy.

3.4.2.5. Clasificación según la Soil Taxonomy

Para este aspecto, se utilizaron las definiciones y nomenclaturas establecidas en el *Keys to Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2022). La clasificación se realizó teniendo en cuenta los suelos con mayor y menor concentración de Cd y Pb, lo que permitió establecer una relación entre estas concentraciones y el desarrollo de los suelos.



Según el sistema Soil Taxonomy, los suelos se agrupan en un sistema jerárquico que comprende 12 órdenes, 64 subórdenes, y más de 300 grandes grupos, subgrupos, familias y series. Esta clasificación se basa en características edáficas diagnósticas observadas tanto en el campo como en laboratorio, distinguiendo entre suelos minerales y orgánicos, así como la presencia y tipo de horizontes diagnósticos, que incluyen epipedones (superficiales) y endopedones (subsuperficiales).

El sistema incorpora además regímenes de humedad del suelo como: Aridic, Xeric, Ustic, Udic y Aquic; regímenes de temperatura como Cryic, Mesic, Thermic e Hyperthermic, lo que permite una clasificación coherente con las condiciones climáticas del sitio. En todos los niveles jerárquicos (orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie), se aplican criterios taxonómicos precisos y reglas específicas de nomenclatura, siguiendo las claves del Keys to Soil Taxonomy. Estas claves permiten identificar la posición taxonómica del perfil en estudio con base en la presencia, espesor, profundidad y propiedades físico-químicas de los horizontes edáficos (Nina, 2023).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINAR LOS ELEMENTOS DE CADMIO Y PLOMO EN EL EPIPEDÓN DE DIEZ PARCELAS DEL C. E. CAMACANI – PUNO

4.1.1. Concentración de Cadmio en diez parcelas del C.E. Camacani

Las concentraciones de cadmio en las distintas parcelas de cultivo se acercan a los ECAs establecidos para suelos agrícolas, como se muestra en la tabla 9. Esto se debe a que la concentración más baja de cadmio se encuentra en el punto P-9, correspondiente al cultivo de avena, con un valor de 0.87 mg/kg, ubicado en la parte baja de la comunidad de Camata. Por otro lado, la concentración más alta de cadmio es de 1.30 mg/kg, registrada en el punto P-2, también en el cultivo de avena, que se encuentra en la zona del margen derecho de C.E. Camacani.

Tabla 9

Resultados de concentración de Cadmio

Punto	Uso Actual de Tierras	Unidad de medida	ECAs – Cd	Concentración de Cd
P-1	Papa	mg/kg	1.40	1.20
P-2	Avena	mg/kg	1.40	1.30
P-3	Tarwi	mg/kg	1.40	1.10
P-4	Avena	mg/kg	1.40	1.10
P-5	En descanso	mg/kg	1.40	1.20
P-6	Alfalfa	mg/kg	1.40	0.89
P-7	Papa	mg/kg	1.40	1.10
P-8	Avena	mg/kg	1.40	0.94
P-9	Avena	mg/kg	1.40	0.87
P-10	En descanso	mg/kg	1.40	1.10
Máximo		mg/kg		1.30
Mínimo		mg/kg		0.87

Las concentraciones de cadmio encontradas en las diez parcelas del C.E. Camacani (0.87 a 1.30 mg/kg) se mantienen dentro del límite permitido por los ECAs (1.40 mg/kg). No obstante, esta presencia constante refleja un riesgo acumulativo, ya que, como advierte el ATSDR (1999), el Cd se adsorbe fuertemente a la materia orgánica del suelo y puede ser liberado lentamente, permaneciendo disponible para los cultivos. Además, Urbina et al. (2023) indican que el uso frecuente de agroquímicos, junto con las condiciones edafoclimáticas, puede favorecer su acumulación, incluso en suelos con baja contaminación inicial.

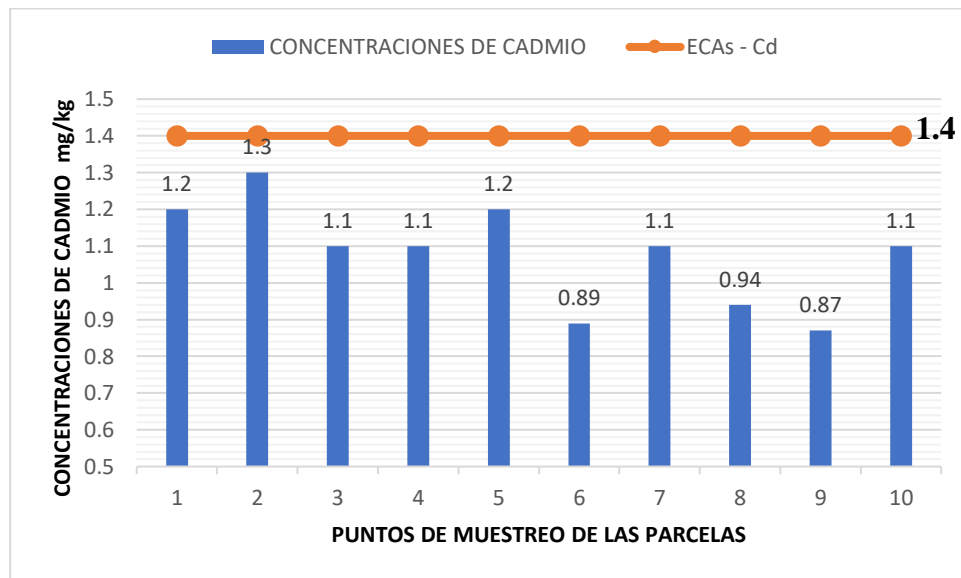
De manera comparativa, Fuentes (2023) reportó concentraciones de hasta 4,993 mg/kg en zonas bajas de Ica, asociadas al uso intensivo de fertilizantes fosfatados, en contraste con los 1,377 mg/kg en Villacurí, donde el manejo agrícola era menos agresivo. Estos valores, mucho más elevados que los registrados en Camacani, varían por la ubicación geográfica, textura del suelo e intensidad agrícola influyen en la movilidad del Cd. Por otro lado, como señalan Fernández y Mullisaca (2022), la exposición prolongada al cadmio puede causar enfermedades cancerígenas, por lo que es fundamental implementar medidas de monitoreo y manejo sostenible para prevenir su acumulación futura en estos sistemas agrícolas.

La Figura 6 representa el comportamiento del cadmio (Cd) en diez parcelas agrícolas del Centro Experimental Camacani, destacando su relación con el umbral establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para suelos agrícolas (1.40 mg/kg). Las concentraciones medidas fluctúan entre 0.87 mg/kg en la parcela P-9 y 1.30 mg/kg en la P-2, evidenciando que, si bien ningún valor supera el límite normativo, al menos seis parcelas presentan niveles iguales o

superiores a 1.10 mg/kg, reflejando una tendencia hacia la acumulación progresiva del metal.

Figura 6

Comportamiento de Cd de las diez parcelas de suelo respecto a las ECAs



Los valores obtenidos fluctúan entre 0.87 mg/kg (P-9) y 1.30 mg/kg (P-2), sin exceder los ECAs de 1.40 mg/kg establecido para suelos agrícolas; no obstante, seis parcelas presentaron concentraciones iguales o superiores a 1.10 mg/kg, lo que sugiere una acumulación progresiva. Asimismo, Andrade et al. (2020) reportaron concentraciones elevadas de cadmio (Cd) en suelos agrícolas de la bahía interior de Puno, alcanzando hasta 12.47 mg/kg, superando ampliamente los ECAs y evidenciando riesgo ambiental. Según Vélez (2007), el Cd es un contaminante persistente e irreversible en el suelo, capaz de acumularse con el tiempo y ser absorbido por los cultivos, por lo que, pese a no superar los valores normativos, los resultados de Camacani indican un riesgo potencial.

4.1.2. Concentración de Plomo de diez parcelas del C.E. Camacani

En la Tabla 10 se observa que la concentración de plomo en los suelos de diez parcelas superando en uno de ellos los ECAs, aunque en algunos puntos está por debajo. La mayor concentración fue de 136 mg/kg en el punto P-10 (zona baja de Camata), mientras que las menores (20 mg/kg) se registraron en los puntos P-5 y P-6, correspondientes a suelos en descanso y cultivo de alfalfa, respectivamente.

Tabla 10

Resultados de concentración de Plomo

Punto	Uso Actual de Tierras	Unidad de medida	ECAs – Plomo	Concentración de Pb
P-1	Papa	mg/kg	70	22
P-2	Avena	mg/kg	70	40
P-3	Tarwi	mg/kg	70	38
P-4	Avena	mg/kg	70	21
P-5	En descanso	mg/kg	70	20
P-6	Alfalfa	mg/kg	70	20
P-7	Papa	mg/kg	70	24
P-8	Avena	mg/kg	70	25
P-9	Avena	mg/kg	70	25
P-10	En descanso	mg/kg	70	136
Máximo		mg/kg		136
Mínimo		mg/kg		20

Las concentraciones de Pb en el suelo que varían entre 20 y 136 mg/kg, en comparación con Andrade et al. (2020) reportaron niveles mucho más elevados en su estudio realizado en la bahía interior de Puno, donde hallaron concentraciones de hasta 505.2 mg/kg, asociadas a la influencia de la laguna de oxidación y la descarga de aguas residuales domésticas e industriales. Esta diferencia notable en los niveles máximos evidencia que, aunque Camacani aún



no enfrenta una situación crítica generalizada, ya presenta focos localizados de contaminación severa, como en el caso de la P-10, que podrían agravarse si no se actúa a tiempo.

Según Coila (2024), el uso continuo de fertilizantes fosfatados, pesticidas y riego con aguas contaminadas en zonas altoandinas ha generado acumulaciones progresivas de Pb en suelos agrícolas, incluso en cultivos como alfalfa o en terrenos en descanso, como ocurre en las parcelas P-5 y P-6 (ambas con 20 mg/kg). Domenech y Peral (2006) señalan que el plomo es fuertemente retenido en los suelos debido a su afinidad con el humus y las partículas finas, lo que lo hace persistente y difícil de remover. Mientras, Ortiz et al. (1999) advierten que este metal tiende a permanecer por largos periodos en el ambiente, acumulándose en suelos y sedimentos con potencial de ingresar a la cadena alimentaria. Para evitar que se repita el comportamiento anómalo registrado en la parcela P-10, posiblemente asociado a emisiones de monóxido de carbono provenientes del tránsito vehicular, considerando su cercanía a la carretera Panamericana Sur, así como a otros factores relacionados con el origen y uso previo del suelo.

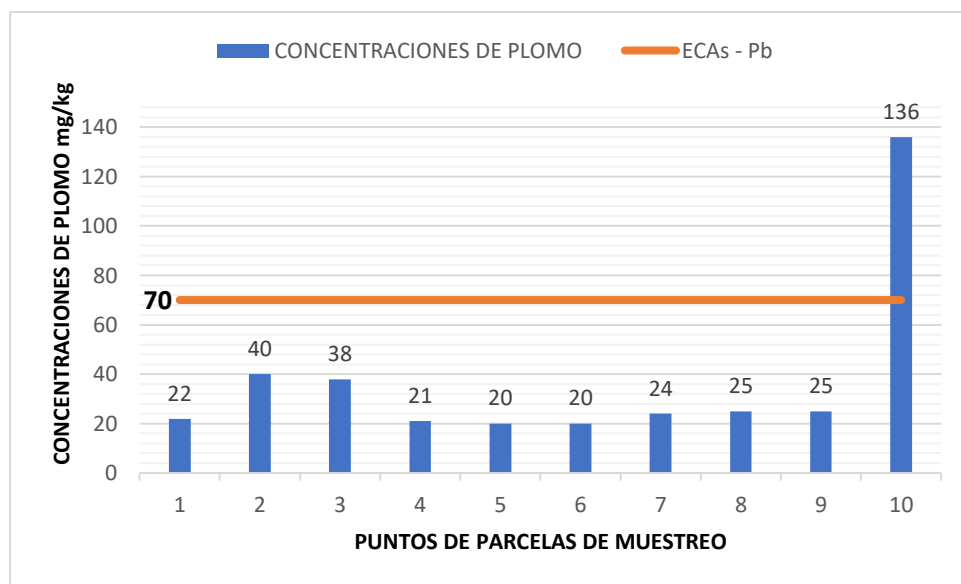
Mientras en la Figura 7, se observa la concentración de plomo en los distintos puntos de las parcelas evaluadas, evidenciando valores tanto por encima como por debajo de los ECAs. La concentración más elevada se registra en el punto P-10, correspondiente a un suelo en descanso, con un valor de 136 mg/kg, superando los límites establecidos por los ECAs. Esta situación representa un riesgo potencial, ya que, en caso de retomar actividades agrícolas en dicho suelo,

podría existir una residualidad de plomo (Pb) en los cultivos, afectando la calidad de los productos cosechados.

En contraste, en los puntos P-1 hasta el P-9, las concentraciones de plomo se mantienen por debajo de los estándares permitidos, lo que indica que estos suelos aún no presentan niveles de contaminación preocupantes.

Figura 7

Comportamiento del Pb de las diez parcelas de suelo respecto a las ECAs



La parcela P-10 presentó una concentración de plomo (Pb) de 136 mg/kg, superando el límite de los ECAs (70 mg/kg), lo que representa un riesgo potencial si se retoman actividades agrícolas. En contraste, los puntos P-1 al P-9 mantienen niveles por debajo del límite, aunque la acumulación paulatina de Pb en el epipedón podría incrementar su concentración a futuro. De acuerdo con Zapata y Medina (2024), la superación del ECAs en un suelo en descanso, como el caso de P-10, obliga a evaluar su aptitud agrícola y considerar estrategias de biorremediación antes de su uso productivo. Mientras CEDEX (2010), el plomo atmosférico se deposita sobre el suelo por precipitación, aplicación de pesticidas



y herbicidas, por lo cual se fija fuertemente en el horizonte superficial, donde puede persistir a lo largo del tiempo.

4.2. CARACTERIZAR Y CLASIFICAR SEGÚN LA SOIL TAXONOMY DOS SUELOS CON MAYOR Y MENOR PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN EL C.E. CAMACANI – PUNO

4.2.1. Suelo Kallanka Esquina

El suelo donde se encontró con mayor concentración de metales pesados (Cd y Pb) se localiza en la parcela instalada la Estación Meteorológica, en las coordenadas (este: 409071; norte: 8236392), correspondiente al cultivo de avena. Este suelo presenta una pendiente entre el 2 y 4 %, se origina a partir de un depósito coluvio aluvial y está compuesto por cuatro horizontes genéticos de perfil Ap/Bw1/Bw2/C1. Su profundidad efectiva alcanza los 50 cm y muestra un ligero desarrollo genético. La textura del suelo varía: es franca hasta los 21 cm de profundidad, franco arenoso entre los 21 y 50 cm, franco limoso de 50 a 130 cm y nuevamente franco arenoso entre los 130 y 155 cm (Tabla 11). Este suelo se clasifica dentro del régimen de temperatura méxico: La temperatura media anual del suelo es igual 9.7°C y régimen de humedad ústico, identificándose un epipedon ócrico. Los colores del suelo oscilan entre pardo rojizo claro y pardo rojizo

Tabla 11

Textura y propiedades físicas del suelo con mayor concentración de Cd y Pb de Kallanka Esquina

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones de mm, (USDA))				Clase textural
		Gravas > 2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-21	8	45.44	41.28	13.28	F
Bw1	21-50	5	55.44	29.28	25.28	FA
Bw2	50-130	65	31.44	53.28	15.28	FL
C1	130-155	50	57.44	29.28	13.29	FA

Según las características fisicoquímicas (Tabla 12), el suelo presenta una reacción que varía de ligeramente ácida a neutra, sin evidencias de carbonatos de calcio en su perfil. La cantidad de materia orgánica en todos los horizontes es baja, aunque en el primer horizonte alcanza un 1.52 %. La conductividad eléctrica (CE) con un valor de 0.03 dS.m⁻¹. El contenido de fósforo disponible es bajo, registrando 3.4 mg.kg⁻¹, mientras que el potasio disponible se encuentra en un rango medio con 117.29 mg.kg⁻¹. Como resultado, la fertilidad del suelo se clasifica como baja.

Tabla 12

Propiedades fisicoquímicas del suelo con mayor concentración de Cd y Pb de Kallanka Esquina

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m-1]	M.O. [%]	P	K
					disponible [mg.kg-1]	disponible
Ap	0-21	6.33	0.04	1.52	3.4	117.29
Bw1	21-50	6.57	0.01	0.12	7.5	97.74
Bw2	50-130	6.98	0.03	0.18	14.1	97.94
C1	130-155	6.9	0.04	0.12	11.95	156.39

Las características de sorción (Tabla 13), indican que el primer horizonte presenta una CIC de 10 cmol(+).kg⁻¹, clasificada como baja. Además, se observa alta saturación de bases.

Tabla 13

Características de sorción del suelo con mayor concentración de Cd y Pb de Kallanka Esquina

Horizontes	Profundidad [cm]	CIC	Cationes intercambiables					SB [%]
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
Ap	0-21	10	6.8	1.7	0.13	0.15	0	90
Bw1	21-50	11.2	8.9	1.6	0.12	0.14	0	99
Bw2	50-130	12	8.5	3.1	0.12	0.17	0	99
C1	130-155	12	8.3	1.9	0.82	0.23	0	90

4.2.2. Suelo Camata

El suelo donde se encontró con menor concentración de metales pesados (Cd y Pb), está ubicado en el C.E. Camacani, específicamente en la parte baja de la carretera panamericana, Camata – Platería, las coordenadas (este: 408045; norte: 8237853) del cultivo de avena, este suelo tiene una pendiente de 10 a 12% es proveniente de un depósito aluvial, consta de 4 horizontes genéticos de perfil Ap/C1/C2/C3. Su profundidad efectiva alcanza los 66 cm y muestra un inicio desarrollo genético. La textura del suelo en todo el perfil es franco arenoso (Tabla 14). Este suelo se clasifica dentro del régimen de temperatura méxico: La temperatura media anual del suelo es igual 9.7°C y régimen de humedad ústico, identificándose un epipedón ócrico. Los colores del suelo oscilan entre pardo oscuro rojizo a rojo muy oscuro.

Tabla 14*Textura y propiedades físicas del suelo con menor concentración de Cd y Pb de**Camata*

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones de mm, (USDA))				Clase textural
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-20	5%	61.44	31.28	7.28	FA
C1	20-66	30%	73.2	21.12	5.68	FA
C2	66-101	70%	59.2	33.12	7.68	FA
C3	101-140	8%	71.2	23.12	5.68	FA

De acuerdo con las características fisicoquímicas (Tabla 15), el suelo presenta una reacción que varía de moderadamente ácida a neutra, sin presencia de carbonatos de calcio en ninguno de los horizontes genéticos. La proporción de materia orgánica en el primer horizonte es baja, registrando un 1.03 %. La conductividad eléctrica (CE) con un valor de 0.03 dS.m⁻¹. El contenido de fósforo disponible se clasifica como medio, alcanzando 7.55 mg.kg⁻¹, mientras que el potasio disponible se ubica en un rango alto con 234.58 mg.kg⁻¹. En consecuencia, la fertilidad del suelo se considera de nivel bajo.

Tabla 15*Propiedades fisicoquímicas del suelo con menor concentración de Cd y Pb de Camata*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	M.O. [%]	P	K
					disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-20	5.98	0.03	1.03	7.55	234.58
C1	20-66	6.54	0.03	0.12	14.35	136.84
C2	66-101	7.12	0.02	0.18	14	293.23
C3	101-140	6.89	0.09	0.18	11.7	254.13

Las características de sorción (Tabla 16), indican que el primer horizonte presenta una CIC de 7 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, clasificada como baja. Además, se observa una alta saturación de bases en todos los horizontes.

Tabla 16

Características de sorción del suelo con menor concentración de Cd y Pb de Camata

Horizontes	Profundidad [cm]	CIC	Cationes intercambiables					SB [%]
			Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+}$	
Ap	0-20	7	2.5	2.1	0.38	0.13	0	70
C1	20-66	8	3.2	3.5	0.51	0.39	0	99
C2	66-101	8.8	6	0.7	0.73	0.25	0	90
C3	101-140	10.6	6	2.5	0.76	0.33	0	90

4.2.3. Clasificación según la Soil Taxonomy dos suelos con mayor y menor presencia de Cadmio y Plomo en el Centro Experimental Camacani

4.2.3.1. Clasificación natural de suelos según la Soil Taxonomy

Según el sistema de clasificación Soil Taxonomy propuesto por el Soil Survey Staff (2022), los suelos Kallanka Esquina y de Camata presentan diferentes niveles de evolución edáfica, lo cual se refleja en su ubicación en distintos órdenes taxonómicos dentro del sistema.

La serie Kallanka Esquina se clasifica dentro del Orden Inceptisol, que agrupa a suelos con un desarrollo genético incipiente, pero mayor que el de los Entisols. Pertenece al Suborden Ustepts, caracterizado por un régimen de humedad ústico. A nivel de gran grupo, corresponde a los Haplustepts, y específicamente al subgrupo Typic Haplustept, lo que indica que no presenta



propiedades distintivas adicionales. A nivel de familia, se clasifica como Franca-gruesa, Typic Haplustept.

Este suelo presenta un epipedón ócrico, identificado por su bajo contenido de materia orgánica y una coloración que va de pardo rojizo claro a pardo rojizo. Además, desarrolla un horizonte cámbico (endopedón) incipiente, evidenciado por una estructura más definida y cierta acumulación de arcillas u óxidos de hierro, lo cual señala un proceso activo de formación del suelo bajo condiciones edafoclimáticas relativamente favorables.

En contraste, la serie Camata pertenece al Orden Entisol, específicamente al Suborden Orthents, que incluye suelos muy jóvenes con un inicio desarrollo genético. Se ubica dentro del gran grupo Ustorthents y el subgrupo Typic Ustorthents, indicando un perfil simple, sin atributos adicionales. A nivel de familia, se clasifica como Franca-gruesa, Typic Ustorthents.

Este suelo también presenta un epipedón ócrico, pero carece de horizontes subsuperficiales diagnósticos, lo que evidencia una evolución edáfica muy limitada. Esta condición está asociada a un material parental poco transformado, a condiciones topográficas restrictivas o a una baja actividad biológica, factores que inhiben la diferenciación de horizontes y la acumulación de materiales en profundidad.

La información completa se resume en la tabla 17, donde se presenta la clasificación taxonómica de ambos perfiles:

Tabla 17*Clasificación de suelos según la Soil Taxonomy*

SOIL TAXONOMY (2022)					
Orden	Sub orden	Grandes grupos	Sub grupo	Familia	Serie
Inceptisol	Ustept	Haplustept	Typic Haplustept	Franca-gruesa, Typic Haplustept	Kallanka Esquina
Entisol	Orthent	Ustorthent	Typic Ustorthents	Franca-Gruesa, Typic Ustorthents	Camata

Ambos suelos, a pesar de compartir el régimen de humedad ústico, exhiben diferencias importantes en su morfología y grado de evolución. El Inceptisol de Kallanka Esquina, con epipedón ócrico y endopedón cámbico, evidencia un ligero proceso de desarrollo genético. Por el contrario, el Entisol del suelo Camata, con solo epipedón ócrico y sin horizontes diagnósticos subsuperficiales, muestra un inicio de desarrollo genético.

Esto coincide con lo reportado por Aduviri (2024), en los suelos de Quimsachata, clasificados como Typic Cryorthents, donde también predominan epipedones ócricos y escasa evolución del perfil. Asimismo, guarda relación con los suelos Waru Waru Antiguo y Río descritos por Moya (2024) como Typic Haplustepts y Fluventic Haplustepts, respectivamente, los cuales son similares al suelo Estación Meteorológica Camacani; además presentan horizontes cámbicos, reflejando una mayor pedogénesis, posiblemente influenciada por prácticas agrícolas tradicionales o materiales parentales.

Además, otros estudios en regiones altoandinas han confirmado que los Inceptisoles se desarrollan en ambientes donde existe suficiente humedad y



estabilidad del relieve, lo que permite una diferenciación vertical del perfil, mientras que los Entisoles tienden a aparecer en laderas activas, terrazas jóvenes o zonas de depositación reciente (Brady y Weil, 2017; FAO, 2022). Según IUSS Working Group WRB (2022), la presencia o ausencia del horizonte cámbico constituye un indicador clave del grado de evolución en suelos jóvenes desarrollados en regiones altoandinas.



V. CONCLUSIONES

- Se realizó la determinación de la concentración de Cd y Pb en 10 parcelas del C.E. Camacani, observándose que la parcela P-2 presentó la mayor concentración de cadmio, con 1.3 mg/kg, mientras que la parcela P-10 registró la mayor concentración de plomo, con 136 mg/kg, superando ampliamente el valor establecido por los ECAs. Por otro lado, la parcela P-9 mostró las menores concentraciones, con 0.87 mg/kg de cadmio y 25 mg/kg de plomo. Aunque algunas parcelas superaron los valores establecidos por los ECAs, la acumulación progresiva de metales pesados podría afectar negativamente al ecosistema y la salud humana, por lo que se recomienda un monitoreo constante y la aplicación de medidas de remediación del suelo para reducir su impacto y prevenir riesgos futuros.
- Los dos suelos con mayor y menor representatividad de Cd y Pb identificados en el C.E. de Camacani presentan diferencias en sus características físicas, químicas según la Soil Taxonomy. El suelo Kallanka Esquina fue clasificado como Inceptisol (Typic Haplustept), mientras que el de Camata pertenece al orden Entisol (Typic Ustorthents), reflejando distintos grados de evolución edáfica. Ambos presentan un epipedón ócrico; sin embargo, solo Camacani desarrolla un horizonte cámbico incipiente. Las texturas francosa-gruesa en Camacani y francosa-fina en Camata influyen en su capacidad de retención de humedad y aireación. Estas características están asociadas a un origen coluvio-aluvial, el cual aporta materiales heterogéneos y de baja consolidación, lo que limita la formación de horizontes desarrollados y favorece la acumulación o movilidad de metales pesados en determinadas zonas del perfil.



VI. RECOMENDACIONES

- Con base en los resultados obtenidos sobre la concentración de cadmio y plomo, se recomienda implementar un plan de remediación de suelos, priorizando la parcela P-10 debido a los niveles elevados de contaminación detectados, lo que se sugiere extender el estudio a las zonas circundantes para identificar posibles focos de contaminación y diseñar estrategias integrales que permitan reducir los riesgos ambientales asociados con la acumulación de estos metales pesados a largo plazo.
- Se recomienda realizar una clasificación detallada de los suelos en los demás Centros Experimentales, ya que son centros de investigación, esto permitirá obtener información precisa sobre las características del suelo y determinar los cultivos más adecuados para cada área.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduviri, F. (2024). *Estimación del carbono orgánico en las sustancias húmicas en los suelos de la Estación Experimental Quimsachata – INIA Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21931>
- Ahmad, I., Akhtar, J., Zahir, A. (2018). *Enmiendas orgánicas: efectos sobre el crecimiento de los cereales y la remediación del cadmio*. Environ. Sci. Technol. September
- Andrade, K., Castillo, I., & Quispe, R. (2020). *Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de Solanum tuberosum de la bahía interior de Puno*. Investigación & Desarrollo, 20(1), 147–153.
<https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1062>
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). Springer.
- Alloway, B. J. (1995). Heavy metals in soils (2ª ed.). Springer.
- Asqui, R. (2018). *Efecto de encalado en la producción de papa (Solanum tuberosum L.) var. Imilla Negra en un suelo ácido del CIP Camacani – Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10174>
- Atkins, P. (2006). Química general: Principios y aplicaciones modernas (5ª ed.). Editorial Reverte.
- ATSDR. (1999). Toxicological Profile for Lead. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1600 Clifton Road NE Mailstop F-32 Atlanta, Georgia 30333.
- Benavides, P. (2005). La toxicidad por cadmio en las plantas. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, 17(1), 21-34.
- Black, C. A. (1965). Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945).



- Determination of total, soluble, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-46. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson Education.
- Bradl, B. (2004). *Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.04.005>
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). *Determination of total, soluble, and available forms of phosphorus in soils*. *Soil Science*, 59(1), 39-46. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- Bourg, A.C.M. (1995). Speciation of heavy metals in soils and groundwater and implications for their natural and provoked mobility. En *Heavy metals: problems and solutions* (eds W. Salomons et al.), pp. 19-31. Springer Verlag, Berlin.
- Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C., & McDaniel, P. A. (2011). *Soil genesis and classification*. Wiley-Blackwell.
- Carrasco, A. (1994). Química de metales pesados en suelos de Chile. En *Seminario-Taller: Impacto ambiental de metales pesados en Chile* (pp. 137-149). Santiago, Chile: INIA – La Platina.
- CEDEX. (2010). *Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex Sedimentología, Química del sedimento. Sedimento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)*. Madrid, España: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.
- Christl, I., Milne, C., Kinniburgh, D., & Kretschmar, R. (2001). *Relating ion binding by fulvic and humic acids to chemical composition and molecular size*. 2. Metal binding. *Environmental Science and Technology*, 35(12), 2512-2517. <https://doi.org/10.1021/es0002520>
- Coila, M. (2024). *Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en agua para riego y suelo agrícola en el distrito de Llalli, provincia de Melgar - Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].



<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22066>

- Contreras, F., Herrera, T., & Izquierdo, A. (2005). *Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (Theobroma cacao L.) en suelos de Barlovento, Estado Miranda, Venezuela*, 13, 52-63. Recuperado de www.venesuelos.org.ve
- Cuartero, A., & Felicísimo, A. (2003). Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusiones. *Geofocus*, 3, 45-58.
- Cusi, V. (2021). *Concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (Solanum tuberosum L.), cultivada en suelos contaminados de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11465>
- Delgado, R., Rivera, O., Torres, P., Corral, A., Flores, M., & Santana, C. (2014). Determinación de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos urbanos de Ciudad Juárez.
- Díaz, A., y Alarcón, M. (2020). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz (Zea mays) en la zona norte de la provincia de Los Ríos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6164>
- Domenech, X., y Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Departamento de Química, Universitat Autònoma de Barcelona. Universitat Autònoma de Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Enriquez, S., y Cremona, V. (2018). *La restauración ecológica como proyecto educativo: Aportes teóricos y líneas de acción*. Editorial de la Universidad Nacional del Comahue.
- FAO y GTIS. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico*. Roma, Italia.
- FAO. (2022). *World reference base for soil resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (Update 2022)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.



- Fernández, H., y Mullisaca, E. (2022). *Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú)*. *Revista de Investigación Agropecuaria*, 26(1), 56–65. https://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572022000200131&script=sci_arttext
- Fuentes, G. (2023). *Impacto ambiental de los fertilizantes fosfatados en el nivel de contaminación por cadmio en suelos cultivados en el valle de Ica* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica]. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4221>
- Galán, E., y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (10), 48–60.
- García, I., y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Harte, J. (1995). *Guía de las sustancias contaminantes: el libro de los tóxicos de la A a la Z* (1.ª ed.). Grijalbo. ISBN 978-9700506159.
- Hernández, C., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición–UCA.
- Herrera, T. (2000). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos. Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela*, 8(1 y 2).
- Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology* (Revised ed.). San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps* (4th ed.). FAO.
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. New York: McGraw-Hill.



- John, A., & Leventhal, S. (1995). Bioavailability of metals. Recuperado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/MODELOS/depositosambiente/BioavailabilityOfMetal.pdf> el 17 de abril de 2011.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2000). Trace elements in soils and plants (3rd ed.). CRC Press
- Kanter, R. (2018). Nitrogen pollution: A key building block for addressing climate change. *Climatic Change*, 147(1–2), 11–21. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2126-6>
- Kirkham, M. B. (2006). Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation and amendments. *Geoderma*, 137, 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.07.017>
- Llamojas, V. (2023). *Génesis, morfología, mineralogía y clasificación de los suelos de Irazola, Padre Abad, Ucayali* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6028>
- Lavado, P. (2017). *Cuantificación de la concentración de plomo y cadmio en quinua (Chenopodium quinoa Willd) expendida en Lima Metropolitana comparada con los parámetros establecidos por la Unión Europea y Mercosur* [Tesis de pregrado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. <https://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/2009>
- Legros, J. P. (2013). Major soil groups of the world: Ecology, genesis, properties and classification (V. Sarma, Trans.). CRC Press.
- López, L., García, M., Madueño, F., Bautista, N., Marín, G., & Olortegui, D. (2020). Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima – Perú). *Ciencia e Investigación*, 23(81), 25-30.
- Londoño, F., Londoño, T., y Muñoz, F. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*.14(2), 145-153. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>



- Mamani, D. J. (2023). *Caracterización, clasificación y elaboración de monolitos de suelos en la Estación Experimental Agraria Illpa-INIA, región Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20297>
- Maqueda, A. (2003). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados* [Tesis de maestría, Universidad de las Américas Puebla]. https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mbt/maqueda_g_ap/.
- Martí, L., Burba, J., y Cavagnaro, M. (2002) *Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 34(2), 43–48. <https://bdigital.uncu.edu.ar/2829>
- Martí, L., Salcedo, C., Troilo, S., Rey, E., & Valdés, A. (1999). Tenores de elementos metálicos en tomate para industria cultivado en distintos suelos y períodos agrícolas. Libro del Congreso Nacional Ambiental 99. Programa de Estudios Ambientales (PRODEA), Tomo I, 146-150.
- Martínez, C. (2015). *Efectos de enmiendas de biochar cobre el desarrollo de Cucumis sativus L. Var. SMR-58* [Tesis de Maestria, Universidad de Guadalajara]. <https://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5921>
- Martínez, G., y Palacio, C. (2010). *Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama* [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/23439>
- McBride, M. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press
- Meddeb, S., Hassine, H., Tangour, D., Aichi, H., Álvarez, M., Rosa, J. María; López, R. (2018). *Effects of biochar and compost on a heavy metal moderately polluted urban farm soil*. En *Actas del VIII Congreso Ibérico de las Ciencias del Suelo* (pp. 331–334). Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. <http://hdl.handle.net/10261/170507>
- MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas->



legales/3693-011-2017-minam

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2012). Resolución Ministerial N° 225-2012-MINAM. Establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe>.
- Moya, R. (2024). *Clasificación y evaluación de la calidad de los suelos en la Estación Experimental Agraria Illpa-INIA, región Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21811>
- Nedelkoska, T., y Doran, P. M. (2000). Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potencial for phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineer*
- Nelson, D., & Sommers, E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods* (pp. 961-1010). Soil Science Society of America.
- RCS-USDA. (2000). *Manual de conservación de recursos naturales* (Vol.1).
- Porta, J., Marta, R., & Poch, R. (2014). Introducción a la edafología: uso y protección del suelo. (Issue May).
- Prieto, J., Gonzales, C., Román, A., y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx>
- Obaji, A., Romero, K., Combatt, E., Diaz, L., Burgos, S., Urango, I., Marrugo, J. Ramos, M. (2015). *Evaluación de materiales como potenciales retenedores de metales pesados para su aplicación como enmiendas en suelos contaminados*. Universidad de Córdoba, Montería. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14825913>
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de ecología* (5.^a ed.). Cengage Learning.
- Ortiz, H., Morillo, V., y Villavicencio, B. (1999). Efectos de la adición de lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. *Revista Internacional de*



Contaminación Ambiental, 15(2), 69–77.

- Ramírez, E. (2016). *Génesis, morfología, clasificación y susceptibilidad de suelos de la parte media de la cuenca del río Abujao, región Ucayali* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2761>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO.
- Rodríguez, J., Alcalá, A., Hernández, A., Rodríguez, H., Ruiz, F., García, L., & Díaz, P. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*
- Rodríguez, R., García, A., y Rodríguez, R. (2006). *Los residuos minerometalúrgicos en el medio ambiente*. España: Instituto geológico y minero de España. Serie Medio ambiente
- Romero, J. (2017). *Eficiencia en la inmovilización de plomo en el suelo mediante la aplicación de cantidades de biocarbón en el distrito San Mateo, Lima* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3598>
- Rosales, J., Centeno, L., Cajacuri, J., Breña, J., & Chávez, C. (2021). *Identificación de cadmio y plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo – Junín*. *Revista TECNIA*, 31(2), 83. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1062>
- Rueda, G., Rodriguez, J., & Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas. *Perspectivas para Colombia*. *Acta Agronómica*, 60(3), 203-218. Recuperado de www.revistas.unal.edu.co
- Sandalio, L. (2001). Los cambios inducidos por cadmio en el crecimiento y el metabolismo oxidativo de las plantas de guisantes. *Revista de Botánica Experimental*, 52, 2115-2126.
- Sánchez, B. (2016). *Ecotoxicología del cadmio riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio* [Trabajo de grado, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/50902>



- Sardon, N. (2023). *Evaluación de soluciones extractoras de fósforo (p) disponible mediante la aplicación de una fuente fosfatada en diferentes tipos de suelos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
<https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19384>
- Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2024). Datos meteorológicos de la estación meteorológica Camacani - Puno (p. 200). SENAMHI.
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>
- Servicio Nacional del Meteorología e Hidrología del Perú. (2017). *Atlas de zonas de vida del Perú - Guía Explicativa (Issue 3)*.
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-9.pdf>
- Smolders, E. y Mertens, J. (2013). Cadmium. En B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (p. 283-311). doi: 10.1007/978-94-007-4470-7_10
- Sposito, G. (2016). *The chemistry of soils*. Oxford University Press
- Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil Survey Manual (U.S. Department of Agriculture Handbook 18)*. Soil Conservation Service.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy (12th ed.)*. Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. 305 p
- Staessen, J., Roels, H., Emeliano, D., & Kuznetsova, T. (1999). Environmental exposure to cadmium, forearm bone density, and risk for fractures: Prospective population study. *The Lancet*, 353(9159), 1140-1144.
- Tello, L. (2018). *Eficiencia del *Amaranthus caudatus* como fitoextractor del plomo en suelos contaminados de los grandes parques de Lima Metropolitana* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/9679>
- Tello, L., Jave, J., y Guerrero, J. (2018). Análisis de cuantificación de plomo en suelos de



- parques recreacionales de la ciudad de Lima - Perú. *Ecología Aplicada*, 17(1), 1-9. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1168>
- Thomas, W. (1996). Soil pH and soil acidity. In *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods* (pp. 475-490). Soil Science Society of America.
- Ticona, B. (2019). *Eficiencia de diferentes dosis de biochar para remediar la acidificación del suelo agrícola en invernadero, Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Privada San Carlos]. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/212>
- Torres, E., Cortes, J., Mejía, E., Exebio, A., Santos, A., y Delgadillo, M. (2003). Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca "El Josefino", Jesús María, Jalisco. *Terra Latinoamericana*, 21(1), 117-126. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321114.pdf>
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (1996). *Soil survey laboratory methods manual* (Soil Survey Investigations Report No. 42). U.S. Government Printing Office.
- United States Department of Agriculture. (2017). *Soil survey manual* (Agriculture Handbook)
- Urbina, M., Camac, M., Solis, L., & Camargo, D. (2023). Contaminación de suelos por metales pesados en comunidades agrícolas. *Revista de Investigación*, 47(110), 67–81.
- Vélez. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción + limpia*. Vol. . Número 2. pp. 8-9
- Venancio, J. (2020). *Niveles de estiércol compostado de (Cavia porcellus) en el rendimiento de coliflor (Brassica oleracea L.) cultivar Grafiti F1 en condiciones agroecológicas del distrito de Molino – Pachitea* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6179>
- Venegas, A. (2015). Evaluación de la adición de materiales de origen orgánico para la remediación de suelos contaminados con metales pesados [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona]. <https://hdl.handle.net/2445/65608>



- Willard, E., & Merritt, L. (1979). *Instrumental methods of analysis* (7th ed.). D. Van Nostrand Company.
- Zapata, M., & Medina, S. (2024). *Niveles de contaminación por metales pesados en suelo agrícola de Carapongo, Lima, Perú en enero, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad María Auxiliadora]. <https://orcid.org/0009-0002-4816-5181>
- Zhang, J., Li, H., Zhou, Y., Dou, L. & Cai, L. (2018). Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: A case study in the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*, 235, 710-719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.106>



ANEXOS

Anexo 1. Descripción de perfil de suelo de la calicata N° 01

CARACTERISTICAS GENERALES

Lugar	: Centro Experimental de Camacani
Distrito	: Platería
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Coordenadas Geográficas	: 15°95'00.27" Latitud Sur, 69° 85'88.32" Longitud oeste
Coordenadas UTM	: UTM Zona 19S, Este: 409071, Norte: 8236392
Altitud	: 3862 m.s.n.m.
Suelo	: Kallanka Esquina
Clasificación Natural	: Soil taxonomy (2022): Franca-Gruesa, Typic Haplustept
Material Parental	: Coluvio aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad Geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 2 - 4%
Vegetación	: Terreno en descanso
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: Hebert Nilton Cueva Castro

DESCRIPCION DEL PERFIL DE SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 - 21	Franco; pardo rojizo claro (5YR 6/4), en húmedo; granular, moderado, medio; firme; ligeramente ácida (pH 6.33); contenido de materia orgánica (1.52%); gravas subangulares en un 8%; raíces finas, medias, comunes. Límite de horizonte claro al
Bw1	21 - 50	Franco arenoso; pardo rojizo (5YR 5/3), en húmedo; bloques subangulares, moderado, medio; muy firme; ligeramente ácida (pH 6.57); Contenido de materia orgánica (0.12%); gravas subangulares en un 5%; raíces finas, pocas. Límite de horizonte gradual al
Bw2	50 - 130	Franco limoso; pardo rojizo (5YR 4/4), en húmedo; bloques subangulares, moderado, medio; muy firme; neutro (pH 6.98); Contenido de materia orgánica (0.18%); gravas subangulares en un 65%. Límite de horizonte gradual al
C1	130 - 155	Franco arenoso; pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo; masivo, friable; neutro (pH 6.90); contenido de materia orgánica (0.12%); gravas subangulares en un 50%.



Anexo 2. Descripción de perfil de suelo de la calicata N° 02

CARACTERISTICAS GENERALES

Lugar	: Centro Experimental Camacani
Distrito	: Plateria
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Coordenadas Geográficas	: 15°93'69.38" Latitud Sur, 69° 85'92.56" Longitud oeste
Coordenadas UTM	: UTM Zona 19S, Este: 408045, Norte: 8237853
Altitud	: 3838 m.s.n.m.
Suelo	: Camata
Clasificación Natural	: Soil taxonomy (2022): Franca-Gruesa, Typic Ustorthent
Material Parental	: Coluvio-aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad Geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 10- 12%
Vegetación	: Terreno en descanso
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: Hebert Nilton Cueva Castro

DESCRIPCION DEL PERFIL DE SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 – 20	Franco arenoso; pardo oscuro rojizo (2.5YR 3/4), en húmedo; granular, fina; moderadamente ácida (pH 5.98); contenido de materia orgánica (1.03%); gravas subangulares en un 5%; raíces finas, medianas, comunes. Límite de horizonte difuso al
C1	20 – 66	Franco arenoso; pardo oscuro rojizo (2.5YR 3/3), en húmedo; masivo, friable; ligeramente ácida (pH 6.54); contenido de materia orgánica (0.12%); gravas subangulares en un 30%; raíces finas, medianas. Límite de horizonte gradual al
C2	66 – 101	Franco arenoso; rojo oscuro (10R 3/3), en seco, pardo oscura (10YR 3/3), en húmedo; masivo, friable; neutro (pH 7.12); contenido de materia orgánica (0.18%); gravas subangulares en un 70%; raíces finas Límite de horizonte difuso al
C3	101- 140	Franco arenoso; rojo muy oscuro (10R 2.5/2), en húmedo; masivo, suelto; neutro (pH 6.89); contenido de materia orgánica (0.18%); gravas subangulares en un 8%; raíces finas, pocas.

Anexo 3. Paisaje del lugar de la calicata Kallanka Esquina



Anexo 4. Calicata N° 01 Kallanka Esquina



Anexo 5. Calicata N° 02 Camata



Anexo 6. Uso de la Tabla Munsell para la determinación del color del suelo



Anexo 7. Muestras de suelo para análisis de laboratorio



Anexo 8. Muestras tamizadas



Anexo 9. Determinación de la textura por método Bouyoucos




Anexo 10. Análisis de pH y conductividad eléctrica





Anexo 11. Resultados de análisis de metales pesados de las muestras de suelos

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 1 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24



Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de papa
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-1
Código original:	P - 1

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 1 36-1
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,2
Piomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	22

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 2 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	15:35
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de avena
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-2
Código original:	P - 2

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 2 36-2
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,3
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	40

- * Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
- * La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



CC: Andrés
JChica



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 3 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	0,48125
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de tarwi
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-3
Código original:	P - 3

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 3 36-3
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,1
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	38

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



CC: Archivos
JChica



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 4 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	16:20
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de avena
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-4
Código original:	P - 4

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	P - 4 36-4
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,1
Piomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	21

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



CC: Arellano
JChico



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 5 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	16:43
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo en descanso - Habas
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-5
Código original:	P - 5

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 5 36-5
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,2
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	20

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



CC: AnaW
JChica



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 6 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	16:58
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de aifa alfa
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-6
Código original:	P - 6

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 6
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	0,89
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	20

- * Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
- * La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S36/24

Página 7 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno Centro Experimental Camacani
Punto de muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Responsable del muestreo:	19 de septiembre de 2024
Fecha de muestreo:	17:40
Hora de muestreo:	8 de octubre de 2024
Fecha de recepción de la muestra:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Suelo - cultivo de papa
Caracterización de la muestra:	Simple
Tipo de muestra:	Bolsa Ziploc
Envase:	36-7
Código LCA:	P - 7
Código original:	

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 7 36-7
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,1
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	24

- * Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
- * La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



CC: Archivo
JCVta



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 8 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERU
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	17:58
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de avena
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-8
Código original:	P - 8

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 1 36-8
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	0,94
Piomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	25

- * Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
- * La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 9 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	08:20
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo - cultivo de avena
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-9
Código original:	P-9

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P-9 36-9
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	0,87
Piomo total	Microwave Reaction System/EPA 228.1	mg/kg	0,25	25

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S 36/24

Página 10 de 10

INFORME DE ENSAYO EN SUELO DE CULTIVO S36/24

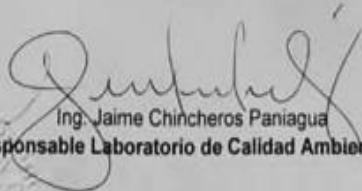
Solicitante:	Hebert Nilton Cueva Castro
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO - PERÚ
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	CE-Camacani Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Centro Experimental Camacani
Responsable del muestreo:	Hebert Nilton Cueva Castro
Fecha de muestreo:	19 de septiembre de 2024
Hora de muestreo:	09:10
Fecha de recepción de la muestra:	8 de octubre de 2024
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 8 al 28 de octubre, 2024
Caracterización de la muestra:	Suelo en descanso
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Ziploc
Código LCA:	36-10
Código original:	P - 10

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P - 1 36-10
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,1
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	138

- * Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
- * La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 7 de noviembre de 2024



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

CC: Archivo
JChica




Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
La Paz - Bolivia

Anexo 12. Análisis de resultados de caracterización de las muestras de suelos



PERÚ
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego




ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

Nombre: Hebert Nilson Cueva Castro
 Procedencia: Centro Experimental Carracas
 Fecha de Recepción: 21 de Marzo del 2025. Fecha de Certificación: 31 de Marzo del 2025.
 Caracterización de Propiedades Relativamente Permanente del Suelo.

N°	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS		MECANICO		CO ₂ C ₂ %	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena	Arcilla	Limo	Textura			
			%	%	%				
1	Cal 1-1		35,44	19,28	45,28	F	0,00	1,82	0,07
2	Cal 2-1		33,44	19,28	47,28	F	0,00	1,88	0,07
3	Cal 3-1		59,44	11,28	29,28	FA	0,00	1,27	0,05
4	Cal 5-1		41,44	17,28	41,28	F	0,60	2,31	0,09
5	Cal 9-1		41,44	15,28	43,28	F	0,00	2,98	0,11
6	Cal 11-1		45,44	13,28	41,28	F	0,00	1,52	0,06
7	Cal 11-2		55,44	15,28	29,28	FA	0,00	0,12	0,004
8	Cal 11-3		31,44	15,28	53,28	FL	0,00	0,18	0,006
9	Cal 11-4		57,44	13,28	29,28	FA	0,00	0,12	0,004
10	Cal 12-1		47,44	13,28	39,28	F	0,00	1,34	0,05

Caracterización del Estado de Fertilidad y Condiciones Alterab52,881es del Suelo.

N°	Suelo: Agua 1:2,5		NUTRIENTES DISPONIBLES				CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mhos/cm	P (ppm)	K (ppm)			Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g	Na me/100g	K me/100g		
1	6.42	10,17	9,75	175,94			0,00	4,50	2,40	0,12	0,08	8,40	7,10
2	5.91	12,27	6,85	215,03			T	8,20	5,30	0,20	0,19	14,00	13,39
3	5.55	8,21	6,80	78,19			T	3,90	3,20	0,20	0,19	9,00	7,49
4	6.26	7,65	7,75	117,29			0,00	8,20	4,70	0,16	0,28	14,60	13,34
5	6.43	12,70	8,00	195,49			0,00	7,84	4,50	0,13	0,38	13,40	12,85
6	6.33	3,96	3,40	117,29			0,00	6,80	1,70	0,15	0,13	10,00	8,78
7	6.57	3,01	7,50	97,74			0,00	8,90	1,60	0,14	0,12	11,20	10,76
8	6.98	2,81	14,10	97,74			0,00	8,50	3,10	0,17	0,12	12,00	11,89
9	6.90	4,26	11,95	156,39			0,00	8,30	1,90	0,23	0,82	12,00	11,25
10	6.69	3,28	2,55	175,94			0,00	6,50	2,30	0,10	0,20	10,10	9,10



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



ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

Nombre: Hebert Nilise Cueva Castro

Procedencia:

Fecha de Recepción: 21 de Marzo del 2023

Fecha de Certificación: 31 de Marzo del 2023

Caracterización de Propiedades Relativamente Permanente del Suelo.

N°	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS MECÁNICO				C.O./a %	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena	Arella	Limo	Textura			
			%	%	%				
1	Col 14-1		25,44	27,28	47,28	0,00	1,22		
2	Col 15-1		61,44	7,28	31,28	0,00	1,03		
3	Col 15-2		73,20	5,68	21,12	0,00	0,12		
4	Col 15-3		59,20	7,68	33,12	0,00	0,18		
5	Col 15-4		71,20	5,68	23,12	0,00	0,18		
6	Col 16-1		37,44	19,28	43,28	0,00	0,50		
7									
8									
9									
10									

Caracterización del Estado de Fertilidad y Condiciones Alterab52.886s del Suelo.

N°	Suelo: Agua 1:2,5		NUTRIENTES DISPONIBLES			CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mhos/cm	P (ppm)	K (ppm)		Al	Ca	Mg	Na	K		
1	6,68	1,89	9,00	234,58		0,00	13,80	4,30	0,20	0,33	20,00	18,66
2	5,98	2,56	7,55	234,58		T	2,50	2,10	0,13	0,38	7,00	5,11
3	6,54	28,40	14,35	136,84		0,00	3,20	3,50	0,39	0,51	8,00	7,60
4	7,12	1,84	14,00	293,23		0,00	6,00	0,70	0,25	0,73	8,80	7,68
5	6,89	9,12	11,70	254,13		0,00	6,10	2,50	0,33	0,76	10,60	9,69
6	7,38	8,01	7,80	175,94		0,00	11,20	5,30	0,20	0,23	17,00	16,23
7												
8												
9												
10												



INFORMACIÓN	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor. 1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity - Technical Compendium 1.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002) ítem 7.1.9 AS-09 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines del riego -INIA Ed 1era 2017 ítem 4.5. Pág 39. Determinación de carbono orgánico.

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



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Nitrógeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.17 AS-25. Determinación de nitrógeno total en el suelo por procedimiento de digestado.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10AS-011.2000 Contenido de fósforo extraíble por el método de Olsen.
Potasio	Manual de los procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA, Ed. 1era 2017 ítem 4.9.1 Pag. 62. Potasio Disponible
Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.17 AS-23. Determinación de la acidez y el aluminio intercambiable de cloruro de potasio.
Carbonatos de calcio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25 AS-29.2000. Determinación de Carbonato de calcio por el método de Neutralización Ácida.
Capacidad de Intercambio catiónico	Instrucción Manual 500 795/REV E/03-17 3.2-Flame Photometer Models PFP7 and PFP7 and PFP7/C.

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento.
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- (*) El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
Medición de pH realizada a 25 °C.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua Rojas responsable del laboratorio Sede Illpa.



Ing. Jorge Canihua Rojas
Responsable del Laboratorio Análisis Sede Illpa

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



Anexo 13. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo HEBERT NILTON CUEVA CASTRO
identificado con DNI 73653197 en mi condición de egresado de:

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

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLUMBO EN SUELOS
AGRÍCOLAS Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL CAMACANI - PUNO "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 20 de julio del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 14. Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo HEBERT NILTON CUEVA CASTRO,
identificado con DNI 73653197 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA AGRONÓMICA,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS
AGRÍCOLAS Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL CAMACANI - PUNO "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de Julio del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella