



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA GRANULOMETRÍA EN LA
DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS ESENCIALES
EN LOS SEDIMENTOS DEL LAGO RINCONADA, PUNO**

PRESENTADA POR:

GROVER LINDER FLORES PONCE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2025



GROVER LINDER FLORES PONCE

INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA GRANULOMETRÍA EN LA DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD...

- 4.- CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
- 4.- CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
- Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:465041941

83 Páginas

Fecha de entrega
6 jun 2025, 10:03 a.m. GMT-5

17.444 Palabras

Fecha de descarga
6 jun 2025, 10:17 a.m. GMT-5

99.465 Caracteres

Nombre de archivo
INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA GRANULOMETRÍA EN LA DISTRIBUCIÓN Y DISPONI....docx

Tamaño de archivo
8.0 MB


Dr. Dante A. Salas Aylla
INGENIERO METALURGISTA





12% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 8% Publicaciones
- 6% 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.


Dr. Dante A. Salas Avila
INGENIERO METALURGISTA
CIP. N° 65...


Ing. Estadístico e Informático
CIP. 116625






UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

**INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA GRANULOMETRÍA EN
LA DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS
ESENCIALES EN LOS SEDIMENTOS DEL LAGO RINCONADA, PUNO**



PRESENTADA POR:

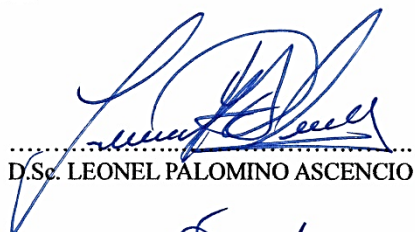
GROVER LINDER FLORES PONCE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

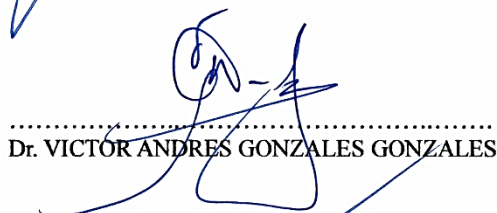
DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
D.Sc. LEONEL PALOMINO ASCENCIO

PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. VICTOR ANDRES GONZALES GONZALES

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dr. ALFREDO PELAYO CALATAYUD MENDOZA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. DANTE ATILIO SALAS AVILA

Puno, 28 de abril de 2025.

ÁREA: Gestión ambiental y recursos hídricos.

TEMA: Influencia de la Materia Orgánica y la Granulometría en la Distribución y Disponibilidad de Metales Pesados Esenciales en los Sedimentos del Lago Rinconada, Puno.

LÍNEA: Contaminación de fuentes hídricas con sub-línea sedimentología.



DEDICATORIA

Un escalón más, una aspiración y mi más grande motivación no pretendiendo ser el mejor entre los demás, mi deseo ser el ejemplo que tu superaras con amor a mi hijo Luis Rossel.

A nuestro creado Dios, a mis padres Luis & Benita; Rosendo & Rosa; a mi esposa Liseth Lilian por su apoyo incondicional gracias.

A mis Hermanos Jenny Edwin y José Luis por su apoyo incondicional, a mi ahijado Thiago Gael y mi sobrino Dastan Gabriel.

Grover Linder Flores Ponce.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano por acogerme en sus claustros.

A mis Docentes del Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, y en especial a mi Asesor por sus grandes conocimientos y experiencias, en su ardua entrega con profesionalismo y entereza.

Grover Linder Flores Ponce.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ACRÓNIMOS	viii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	7
1.1.1	Lagos Andinos y su formación	7
1.1.2	Contaminación de los lagos andinos	7
1.1.3	Sedimentos en Fuentes Hídricas	8
1.1.4	Materia Orgánica en sedimentos	9
1.1.5	Fracción Granulométrica en sedimentos	12
1.1.6	Metales Pesados Esenciales	13
1.2	Antecedentes	16
1.2.1	Internacionales	16
1.2.2	Nacionales	21
1.2.3	Locales	22

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	23
2.2	Enunciados del problema	24
2.2.1	Problema general	24
2.2.2	Problemas específicos	24
2.3	Justificación	25
2.4	Objetivos	26



2.4.1	Objetivo general	26
2.4.2	Objetivos específicos	26
2.5	Hipótesis	26
2.5.1	Hipótesis general	26
2.5.2	Hipótesis específicas	27
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1	Lugar de estudio	28
3.2	Población	30
3.3	Muestra	31
3.4	Método de investigación	34
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	34
3.5.1	Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos	34
3.5.2	Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros	34
3.5.3	Aplicación de prueba estadística inferencial.	36
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	Resultados	38
4.2	Discusión	46
CONCLUSIONES		50
RECOMENDACIONES		52
BIBLIOGRAFÍA		53
ANEXOS		68



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Coordenadas de los puntos de muestreo	33
2. Porcentaje de materia orgánica según puntos de muestreo	38
3. Distribución granulométrica del sedimento de la laguna Rinconada	40
4. Concentración de los metales pesados esenciales en sedimentos de la laguna Rinconada	42



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Vías principales de entrada de metales en el medio acuático (varios autores)	14
2. Mapa Geológico de Puno - INGEMMET, Geología	15
3. Las cuencas e intercuencas	29
4. Ubicación de la Laguna Rinconada	30
5. Cuencas	32
6. Puntos de muestreo de la laguna Rinconada	33
7. Distribución de la materia orgánica en la laguna Rinconada	39
8. Distribución espacial del tamaño de grano según punto de muestreo de los sedimentos	41
9. Distribución espacial de la concentración de los metales pesados en sedimentos de la laguna Rinconada	43
10. Matriz de correlación de Spearman de las variables físico-químicas	44
11. Dendograma de variables de estudio	45



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Matriz de consistencia	68
2. Datos de las diferentes variables según punto de muestreo	69
3. Declaración jurada de autenticidad de tesis	70
4. Autorización de depósito de tesis en el Repositorio Institucional	71



ACRÓNIMOS

ACR	:	Análisis de Correlación
ANA	:	Autoridad Nacional del Agua
EPA	:	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
ICP-OES	:	Espectrometría de Emisión óptica de Plasma Acoplada Inductivamente
LOI550	:	Pérdida por Ignición a 550°C
OMS	:	Organización Mundial de la Salud
PNUMA	:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
USEPA	:	United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.)

RESUMEN

Los cuerpos de agua glaciales son fuentes vitales al encontrarse en las partes altas de una cuenca hidrográfica y originan o alimentan ríos importantes, favoreciendo a los habitantes río abajo. La contaminación de lagos glaciales por la retención de metales pesados en la materia orgánica y sedimentos es un problema ambiental crítico que afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana, especialmente en zonas con actividades mineras. El objetivo de la investigación fue determinar la influencia de la materia orgánica y la distribución granulométrica en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno. La metodología correlacional se encuentra dentro del enfoque cuantitativo, análisis de correlación de Spearman y el análisis de clúster jerárquico. Los resultados demostraron, que en el punto P6 ubicado en la zona profunda, la concentración de materia orgánica alcanzó un 37,75 %, siendo la más alta de todos los puntos muestreados. En esta área, las concentraciones (mg/kg) de metales pesados fueron más elevadas, con valores de 204,3 Zn, 78,6 Cu y 51,5 Mn, lo que resalta la mayor capacidad de adsorción de los sedimentos finos (limo-arcilla). Además, los puntos cercanos a la orilla, P1, P2 y P4, presentaron menores concentraciones (mg/kg) de metales, con 28,1 Zn, 10,5 Cu y 14,2 Mn. Concluyendo que la relevancia de la materia orgánica y granulometría en la movilidad y biodisponibilidad de metales pesados en sedimentos lacustres, con implicaciones para la gestión ambiental de cuerpos de agua afectados por actividades mineras.

Palabras clave: Contaminación, granulometría, lago Rinconada, materia orgánica, metales pesados, minería, sedimentos.

ABSTRACT

Glacial bodies of water are vital sources of water, as they are located in the upper reaches of a watershed and originate or feed important rivers, benefiting downstream residents. Glacial lake pollution due to the retention of heavy metals in organic matter and sediments is a critical environmental problem that affects both aquatic ecosystems and human health, especially in areas with mining activities. The objective of this research was to determine the influence of organic matter and particle size distribution on the distribution and availability of essential heavy metals in the sediments of Rinconada Lake, Puno. The correlational methodology is within the quantitative approach, Spearman correlation analysis and hierarchical cluster analysis. The results showed that at point P6, located in the deep zone, the concentration of organic matter reached 37,75 %, being the highest of all the sampled points. In this area, concentrations (mg/kg) of heavy metals were higher, with values of 204,3 Zn, 78,6 Cu, and 51,5 Mn, highlighting the greater adsorption capacity of fine sediments (silt-clay). In addition, the points near the shore, P1, P2, and P4, presented lower concentrations (mg/kg) of metals, with 28,1 Zn, 10,5 Cu, and 14,2 Mn. Concluding that the relevance of organic matter and granulometry in the mobility and bioavailability of heavy metals in lake sediments, with implications for the environmental management of water bodies affected by mining activities.

Keywords: Granulometry, heavy metals, mining, organic matter, pollution, Rinconada lake, sediments.



Dra. Myriam E. Pacheco Tanaka
C.O.F. 01222

INTRODUCCIÓN

La contaminación de cuerpos de agua por metales pesados es un problema ambiental crítico que afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana, especialmente en zonas con actividades industriales y mineras. Estos metales son altamente persistentes en el medio ambiente, no se degradan fácilmente y pueden ser tóxicos en concentraciones elevadas. La actividad humana, principalmente la minería, la agricultura y la industria, ha incrementado la liberación de estos contaminantes en el medio ambiente, los cuales pueden bioacumularse en la cadena alimentaria y generar efectos negativos a largo plazo en la fauna acuática y en los seres humanos. En el contexto de América Latina, particularmente en Perú, la contaminación por metales pesados debido a la minería es una de las principales preocupaciones ambientales, con metales como plomo, arsénico, cadmio, cobre y zinc afectando gravemente los recursos hídricos. El lago Rinconada está ubicado en la región Puno y forma parte de la cuenca del río Ramis, es un ejemplo de cómo la actividad minera ha afectado los cuerpos de agua, incrementando los niveles de metales pesados que superan los estándares de calidad ambiental establecidos por la legislación nacional e internacional.

Este lago glacial, que provee agua a la cuenca del río Ramis, ha sido severamente afectado por los relaves de la minería, poniendo en riesgo tanto la biodiversidad acuática como la salud de las poblaciones que dependen de sus aguas para el consumo y actividades agropecuarias. Las propiedades de los sedimentos del lago Rinconada, como la materia orgánica y la granulometría, juegan un papel fundamental en el estado del movimiento de la distribución y biodisponibilidad de los metales pesados. La materia orgánica tiene la capacidad de adsorber metales pesados, formando complejos que los retienen en los sedimentos, mientras que la granulometría, o el tamaño de las partículas de sedimento, influye en la superficie disponible para la adsorción de estos contaminantes, siendo las partículas más finas las que ofrecen una mayor área superficial para su fijación. Sin embargo, a pesar de la gravedad de la contaminación por metales pesados en el lago Rinconada, existe un vacío en la investigación sobre cómo la interacción entre la materia orgánica y la granulometría de los sedimentos influye en la distribución y biodisponibilidad de metales pesados esenciales como zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cobalto (Co). Este vacío en el conocimiento limita el desarrollo de estrategias efectivas para la remediación de estos contaminantes y la protección de los recursos hídricos de la región.

El presente estudio se enmarca en el área de gestión ambiental y recursos hídricos, específicamente en la línea de investigación contaminación de fuentes hídricas con sub-línea sedimentología, y tiene como tema central el análisis de cómo la materia orgánica y la granulometría de los sedimentos del lago Rinconada influyen en la distribución y biodisponibilidad de metales pesados esenciales. La pretensión de la investigación es comprender la relación entre los factores sedimentarios y los metales tóxicos, para proveer una base científica que facilita desarrollar estrategias de manejo y remediación para las masas de agua afectados. Esta investigación adoptará una metodología correlacional con el propósito de reconocer las conexiones entre la materia orgánica, la granulometría y la distribución de los metales pesados en los sedimentos del lago Rinconada. Se empleará un muestreo sistemático para escoger los puntos de muestreo en el lago, garantizando una representación ecuánime de las condiciones del lugar de estudio. Las muestras serán evaluadas para precisar su contenido de materia orgánica y su granulometría usando método analítico como la pérdida por ignición y el análisis de tamizado. Además, se evaluarán las concentraciones de metales tóxicos mediante técnicas analítica de espectrometría de emisión óptica de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES), y se utilizarán softwares estadísticos para determinar la correlación y el análisis de clúster para estudiar las relaciones entre las variables.

Esta investigación es esencial para ocupar el vacío existente en el entendimiento de cómo las propiedades sedimentarias influyen la biodisponibilidad de metales pesados en lagos glaciales como el Rinconada. Los resultados obtenidos no solo permitirán una mejor comprensión de la dinámica de la contaminación en estos ecosistemas, sino que también ofrecerán información valiosa para el diseño de políticas y estrategias más efectivas para la protección de los recursos hídricos y la salud de las comunidades que dependen de ellos.

Con respecto al metal pesado, el Mercurio metálico o elemental (Hg_0) es muy volátil, El mercurio inorgánico (Hg^+ y Hg^{++}) se encuentra principalmente en el suelo procedente de la reducción del mercurio elemental y su depósito en sedimentos y agua, así como de la liberación natural de las rocas que forman parte de la composición de la corteza terrestre y de actividades antropogénicas. El mercurio orgánico se encuentra en el agua, principalmente como metilmercurio (CH_3Hg^+) y como dimetilmercurio ($(CH_3)_2Hg$). Las velocidades de reacción de la metilación en especies químicas insolubles de mercurio son mucho menores que en las solubles y la metilación del

mercurio es importante en ríos y lagos que tienen un pH bajo en forma continua y/o intermitente.

El proceso de digestión para el análisis químico del mercurio generalmente involucra la conversión del mercurio en una forma soluble, que pueda ser analizada por técnicas como la espectroscopia de absorción atómica de vapor frío (AAS) o la espectrometría de masas. Un método común es la digestión ácida. Las muestras de Hg necesitan una digestión especial a diferencia de los otros metales pesados para determinar la concentración de mercurio elemental, mercurio (Hg⁰).

El mercurio no fue incluido en este estudio debido a las particularidades de su análisis químico, que difieren significativamente de los métodos empleados para otros metales pesados. Mientras que las concentraciones de metales como zinc, cobre, Mn y hierro se determinaron mediante espectrometría de emisión óptica (ICP-OES), el mercurio requiere procedimientos específicos, como digestión ácida especial y técnicas como espectroscopía de absorción atómica de vapor frío (AAS), orientadas a detectar sus formas elementales, inorgánicas u orgánicas. Además, su alta volatilidad y la necesidad de procesos de metilación en condiciones controladas hacen que su cuantificación precise metodologías no aplicadas en este trabajo. Por ello, los resultados y conclusiones presentados excluyen la dinámica del mercurio en los sedimentos del lago Rinconada.

La estructura del presente estudio se organiza de la siguiente manera:

Capítulo I: Revisión de Literatura - Marco Teórico y Antecedentes: Este capítulo aborda los antecedentes teóricos y científicos sobre los metales pesados en cuerpos de agua, así como la importancia de la materia orgánica y la granulometría de los sedimentos en la distribución y biodisponibilidad de estos contaminantes. Se analiza en investigaciones anteriores relacionadas con el tema y en los conceptos base que respaldan la investigación.

Capítulo II: Planteamiento del Problema - Identificación del Problema, Enunciado del Problema, Justificación, Objetivos, Hipótesis: En este apartado se enuncia la problemática precisa a investigar: la contaminación de los sedimentos del lago Rinconada por metales pesados y cómo la materia orgánica y la granulometría influyen en su distribución y disponibilidad. Se dan a conocer las preguntas de investigación, los

objetivos generales y específicos, y la hipótesis que encaminan el estudio. Además, se justifica la importancia de la investigación en el ámbito local y global.

Capítulo III: Materiales y Métodos - Lugar de Estudio, Población, Muestra, Método de Investigación, Descripción Detallada de Métodos por Objetivos Específicos: Este apartado describe minuciosamente el área de estudio, las técnicas de muestreo y los procedimientos empleadas para examinar los sedimentos. Se da a conocer el método de muestreo, la población y muestra seleccionada, y la metodología de investigación empleada. Se define el proceso y los materiales empleados para desarrollar cada objetivo de la investigación, recolección de datos y así como al análisis de los resultados.

Capítulo IV: Resultados y Discusión: En este apartado se exponen los resultados obtenidos de los análisis realizados, seguido de una interpretación detallada de los mismos. Se comparan con investigaciones anteriores y se confrontan con las hipótesis planteada, estimando la influencia de la materia orgánica y la granulometría en la biodisponibilidad de metales pesados en los sedimentos del lago Rinconada.

Conclusiones: Este acápite detalla una síntesis de los hallazgos clave, resaltando los más significativos del estudio, y cómo estos aportan al entendimiento de la problemática planteada. Se examinan las implicancias de los resultados para la gestión ambiental de los recursos hídricos en la región.

Recomendaciones: Se establecen recomendaciones basadas en los hallazgos encontrados en la investigación, dirigidas a la mejora de las políticas de manejo ambiental y posibles medidas de remediación para los sedimentos del lago Rinconada. De igual modo se sugieren líneas de investigación futuras para ahondar en temas no abordados en la presente investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Lagos Andinos y su formación

El descongelamiento de los glaciares da lugar a la formación de cuerpos de agua glaciales también conocidas como lagunas andinas (Iturrizaga, 2018). Se hallan cuatro tipos de estas lagunas, clasificadas según su acercamiento al glaciar. Las lagunas supraglaciales son retenidas por el glaciar, habitualmente en áreas de acumulación. Con el tiempo, estas pueden convertirse en lagunas proglaciales, situadas entre la masa glaciar y bloques de hielo desprendidos, las cuales contribuyen al retroceso del glaciar mediante una retroalimentación positiva entre agua y hielo (Wangchuk y Bolch, 2020). Posteriormente, se forman lagunas periglaciales, que, aunque no están conectadas directamente con el glaciar, se encuentran cercanas. Estas lagunas fluyen aguas abajo y, al encontrar superficies adecuadas, forman las lagunas extraglaciales, ubicadas a más de 2 km del glaciar (Petrov et al., 2017).

La formación de lagunas glaciales debido al retroceso glaciar es un problema creciente (Muñoz et al., 2020), ya que el aporte de agua superficial y subterránea a las lagunas extraglaciales está incrementando su superficie (Mark et al., 2017), convirtiéndolas en reservas líquidas cruciales en los Andes tropicales. Estas lagunas se encuentran en áreas elevadas e inaccesibles (Wangchuk y Bolch, 2020), y tienen el potencial de ser utilizadas para la generación eléctrica, además de proporcionar agua dulce para actividades agropecuarias aguas abajo (Ehrbar et al., 2018). También son importantes para actividades humanas como la minería (Schoolmeester et al., 2018).

1.1.2 Contaminación de los lagos andinos

Estas fuentes de agua están afectadas por varios tipos de contaminantes (Ji et al., 2019), entre los cuales los micro plásticos son especialmente comunes (Vermaire et al., 2017). Otros contaminantes incluyen hidrocarburos aromáticos, que son transportados y se introducen en estas fuentes (Tang et al., 2017). Sin

embargo, los metales pesados son los contaminantes más persistentes y tóxicos presentes en estos cuerpos de agua (Ahmadee et al., 2016).

La presencia de metales pesados en los lagos se incrementa debido a diversas actividades humanas, como la ganadería y la agricultura, que utilizan fertilizantes (Evangelou et al., 2019), las áreas urbanas que contribuyen con drenajes de aguas residuales (Li et al., 2020), y especialmente la minería, considerada la principal fuente de contaminación, que introduce elementos potencialmente tóxicos como As, Cd, Cu y Zn (Del Rio-Salas et al., 2019). Aunque estos metales también pueden tener origen natural, la evaluación geoquímica es esencial para la conservación de los organismos acuáticos y la salud de las poblaciones cercanas (Ezemonye et al., 2019). Por ello, es crucial considerar tres aspectos para su identificación y evaluación posteriores.

1.1.3 Sedimentos en Fuentes Hídricas

La calidad del agua en arroyos y ríos se ve afectada por la escorrentía, el uso de la tierra y la actividad biológica en la cuenca (Njuguna et al., 2020). Las partículas sólidas en estos sistemas acuáticos provienen de la meteorización de materiales en la cuenca, dependiendo de factores del material y del entorno (Liu et al., 2019; Smith y Wischmeier, 1978). La sedimentación, el proceso donde las partículas en el agua se depositan en el lecho por gravedad, ocurre en áreas donde la energía del agua disminuye o la salinidad aumenta (Qiao et al., 2017).

El transporte de partículas está determinado por su tamaño; las mayores a 20 μm se desplazan cerca del lecho, mientras que los limos y arcillas permanecen en (Kostka y Leśniak, 2020; Nguyen et al., 2016; Young et al., 2012). La contaminación de cuerpos de agua se ha incrementado, con altos niveles de contaminantes en sedimentos de cuencas urbanas y agrícolas (Drozdova et al., 2019; Ramírez y Pértile, 2017; Valladares-Faundez et al., 2020). Los metales pesados, debido a su capacidad de bioacumulación, son peligrosos para la salud y los ecosistemas (Salas-Mercado et al., 2022).

La deposición de materiales en lechos acuáticos es fundamental para estudios ambientales, ya que los sedimentos pueden actuar como sumideros de contaminantes. Las características físicas y químicas de las partículas finas son

esenciales en este proceso. En zonas de población, las descargas industriales y domésticas incrementan la contaminación, y los sedimentos pueden adsorber micro contaminantes (Choque, 2017). Las materias orgánicas en los sedimentos afectan en la inmovilización y posible movilización de contaminantes (Naidu et al., 2021).

1.1.4 Materia Orgánica en sedimentos

Para comprender el ciclo global del carbono, es clave conocer a detalle la composición y dinámica de la materia orgánica en la litosfera, concretamente la materia orgánica sedimentaria. Los sedimentos fluviales se comportan como registros de los procesos acuáticos, acumulando materia orgánica y metales pesados (Salas-Mercado et al., 2023). Las variaciones geoquímicas, así como naturales y causados por el ser humano, pueden hacer que se liberen estos contaminantes de manera repentina (Casanovas et al., 1995; Huang et al., 2003).

Parámetros como la profundidad del agua, la re suspensión de sedimentos, los niveles de oxígeno disuelto (OD) y la actividad de organismos bentónicos determinan e influyen en la calidad y cantidad de materia orgánica en los sedimentos (Huang et al., 2003; Schneider y Topalova, 2016). Los compuestos orgánicos, son una parte crucial de esta materia, desempeñan un papel vital en el reciclaje y concentración de metales traza.

Estas sustancias, por su naturaleza polifuncional, influyen en los procesos químicos y biológicos importantes, funcionando como sistemas de atenuación que influyen en la acidificación de los cuerpos loticos y lenticos. Según su solubilidad, se clasifican en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.

Los ácidos húmicos y fúlvicos interrelacionan con iones metálicos a través de la formación de complejos, por lo que afecta la dispersión o concentración de metales pesados. Estas compuestos influyen en la especiación de iones metálicos, regulando su reactividad y toxicidad en los cuerpos de agua. Parámetros como el potencial redox (oxidación-reducción) y el pH son críticos para estos procesos (Meeinkuirt et al., 2016), destacando la necesidad de comprender las interrelaciones entre la materia orgánica y los metales pesados.

Los parámetros de la materia orgánica en sedimentos acuáticos son fundamentales para analizar la calidad del agua y los procesos ecológicos en los ecosistemas lacustres. En el ámbito de un estudio sobre los sedimentos del lago Rinconada, los principales indicadores de la materia orgánica se detallan seguidamente:

A. Porcentaje de Materia Orgánica (MO%)

Este parámetro se refiere a la cantidad de materia orgánica (MO) que está en los sedimentos, expresada como un porcentaje del peso total de la muestra. Es uno de los indicadores más usados en investigaciones de sedimentología para precisar el contenido de compuesto orgánica en los sedimentos. Se obtiene mediante el método analítico de pérdida por ignición (LOI550), donde una muestra de sedimento se lleva a una temperatura de 550°C, y la disminución de peso se atribuye a la ignición de la materia orgánica. Este porcentaje muestra el grado de acumulación de material orgánico y su vínculo con el entorno ambientales del ecosistema, como la oxigenación y la actividad biológica.

B. Relación MO: Sedimento

Es la relación de la proporción entre la cantidad de materia orgánica y la cantidad total de sedimentos en una muestra. Este parámetro es útil para entender el impacto de la materia orgánica en la composición y estructura del sedimento, lo que puede afectar en la dinámica del sedimento y la movilidad de contaminantes, como los metales pesados. A mayor relación MO: Sedimento, mayor será posibilidad de que los metales pesados se adsorban a la materia orgánica.

C. Tipo y Fuente de Materia Orgánica

Este parámetro nos indica la clasificación de la materia orgánica según su origen, que puede ser de origen terrestre o acuático, y su descomposición. La presencia de plantas acuáticas como la totorilla (en el lago Rinconada) puede ser una fuente importante de materia orgánica. Sin embargo, este tipo de materia orgánica se descompone muy lentamente en ambientes con una concentración baja oxigenación, lo que influye en la

tasa de descomposición y la acumulación en los sedimentos. La evaluación de la fuente de la MO ayuda a identificar los factores que influyen en la calidad del agua y en la biodisponibilidad de los nutrientes y metales.

D. Degradación de la Materia Orgánica

Este indicador está relacionado con la tasa de descomposición de la MO en el sedimento. En lagunas y lagos con baja oxigenación (como las zonas más profundas del lago Rinconada), la materia orgánica puede degradarse más lentamente, lo que favorece su acumulación en los sedimentos. La relación entre MO y la disponibilidad de nutrientes o metales pesados (como el Cu, Zn, Pb, entre otros) puede indicar el grado de interacción entre estos elementos y la materia orgánica. En este sentido, la degradación de la MO tiene un impacto directo en la liberación o retención de metales pesados en el sedimento.

E. Índice de Descomposición de la MO

Se utiliza este índice para analizar la velocidad y la eficiencia de la descomposición de la materia orgánica. En condiciones de menor concentración de oxígeno (zonas más profundas o peri glaciares del lago), la descomposición es más lenta, indicando mayores concentraciones de materia orgánica. Este índice se puede determinar a partir de la relación entre el contenido de MO en los sedimentos y el carbono orgánico disuelto en el agua.

F. Capacidad de Adsorción de la MO

Este parámetro determina la capacidad de la MO para adsorber metales pesados y otros contaminantes. En los sedimentos con alta concentración de materia, los metales tienden a unirse a la MO debido a sus cualidades químicas, lo que puede determinar en la movilidad de estos elementos en el ecosistema acuático. Este proceso es clave para comprender la biodisponibilidad de los metales en los organismos acuáticos y la salud del ecosistema.

G. Efecto de la MO sobre la Biodisponibilidad de Metales

El contenido de MO en los sedimentos también influye en la biodisponibilidad de metales pesados esenciales, ya que la MO puede actuar como un reservorio para estos metales, limitando su movilidad o facilitando su liberación en condiciones de baja oxigenación. Este indicador es especialmente importante cuando se estudian contaminantes o elementos esenciales para la biota acuática, ya que la concentración de MO puede modificar la forma en que los metales interactúan con el entorno.

1.1.5 Fracción Granulométrica en sedimentos

Las propiedades físicas del sedimento son influenciadas por la distribución de los tamaños de las partículas que componen los sedimentos y se determina por la granulometría.

Los parámetros de la granulometría de los sedimentos de un lago son fundamentales para entender la dinámica de los sedimentos, la movilidad de los contaminantes y la capacidad de retención de estos elementos. La granulometría es la distribución de tamaños de partículas dentro de una muestra de sedimento y nos da información sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el entorno acuático.

A. Tamaño de Medio de Grano (Mz)

El tamaño medio de grano es el parámetro más usado para caracterizar la textura de los sedimentos. Se calcula como el promedio de todos los tamaños de partículas presentes en una muestra de sedimento. Este valor se obtiene mediante la aplicación de la fórmula de Folk y Ward (1957), que toma en cuenta el porcentaje acumulado de cada fracción granulométrica, este parámetro se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$Mz = 2^{(\phi_{50})}$$

Donde: ϕ_{50} es el valor correspondiente al tamaño de grano en el que el 50 % de las partículas son más pequeñas y el 50 % son más grandes.

Si el Mz es > 4 , indica que el sedimento está compuesto mayormente por partículas gruesas (arenas o gravas) y es menor por partículas finas (lodo, arcilla).

B. Fracción de Tamaño de Partícula (distribución granulométrica)

La distribución granulométrica es el perfil completo de tamaños de grano de los sedimentos, que muestra cómo se distribuyen las partículas desde las más grandes (gravas) hasta las más pequeñas (arcillas). Se utiliza para clasificar los sedimentos en varias categorías: Gravas (> 2 mm); Arenas (2 mm a 0,063 mm); limos (0,063 mm a 0,004 mm) y Arcillas ($< 0,004$ mm). Una mayor proporción de arena gruesa o gravas sugiere que el sedimento tiene una alta permeabilidad y podría facilitar la movilidad de contaminantes. Una mayor proporción de lodos o arcillas indica que los sedimentos son más finos, lo que puede resultar en una mayor capacidad de adsorción de contaminantes, pero con menor movilidad.

1.1.6 Metales Pesados Esenciales

Los metales pesados esenciales son aquellos metales que son necesarios en bajas concentraciones para procesos biológicos, pero que pueden ser tóxicos a concentraciones elevadas.

Los indicadores de los metales pesados esenciales son medidas que se utilizan para evaluar la presencia y concentración de metales en los sedimentos, el agua o los organismos acuáticos. Estos metales, aunque necesarios en bajas concentraciones para diversos procesos biológicos, pueden ser tóxicos a niveles elevados. Los metales pesados esenciales que se suelen analizar en los estudios ambientales son Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), y Cromo (Cr).

Figura 1

Vías principales de entrada de metales en el medio acuático (varios autores)

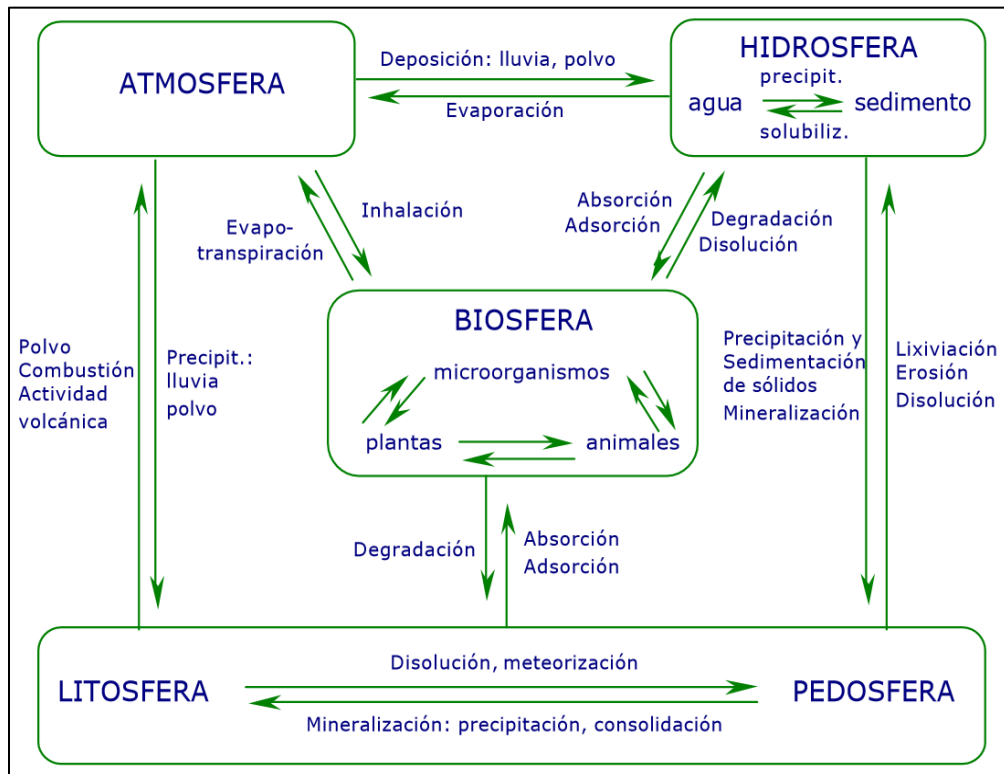
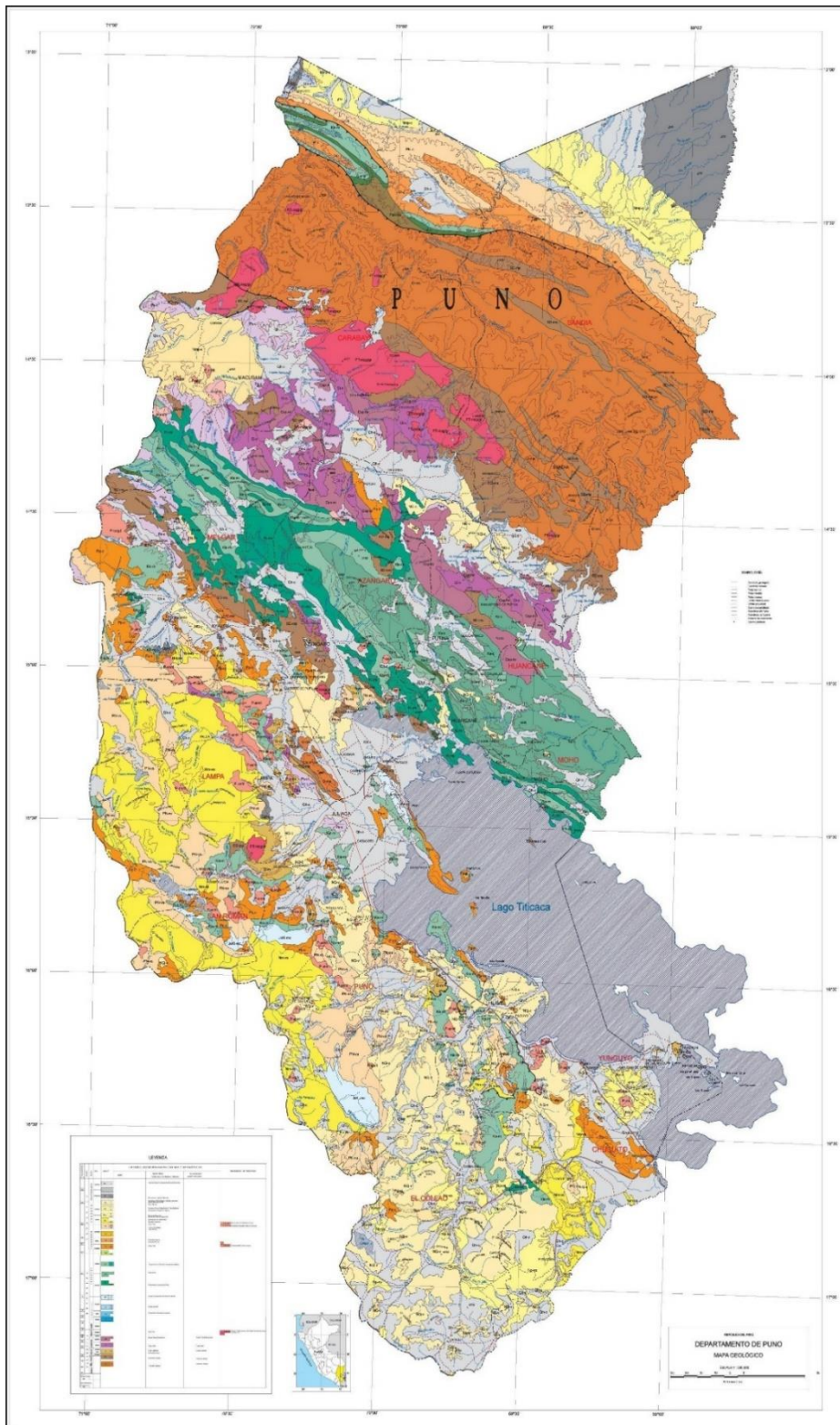


Figura 2

Mapa Geológico de Puno - INGEMMET, Geología



1.2 Antecedentes

1.2.1 Internacionales

Amoakwah et al. (2020) evaluaron el impacto de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas de suelo, agua y vegetación en el sur de Ghana. Analizaron muestras de suelo, sedimentos, agua de arroyos y pozos, y plantas cercanas a áreas de minería artesanal y en pequeña escala (MAPE) para determinar el contenido de metales como Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, y Hg. Los resultados mostraron que el agua de pozos y arroyos estaba contaminada con metales pesados, haciéndola no apta para consumo. Los índices de contaminación revelaron niveles significativos de Cd y Hg en suelo y sedimentos. El suelo, con 2,3 veces más Hg que los sedimentos, actúa como fuente de contaminación para la vegetación y cultivos. Los helechos presentaron concentraciones de metales pesados superiores a los límites de la OMS/FAO, especialmente Hg.

Fadel et al. (2015) cuantificaron la contaminación en los lagos Mellah, Oubeira y Tonga del Parque Nacional El Kala, importantes fuentes de agua y sitios de Patrimonio Nacional según la Convención de Ramsar. Monitorizaron cinco metales pesados (Al, Cr, Zn, Cu, Pb) y fosfatos. Encontraron aluminio en los tres lagos, plomo en Oubeira y Mellah, cobre solo en Oubeira, y ausencia de zinc y cromo en todos los lagos. Los fosfatos alcanzaron un máximo de 6 mg/l, superando el límite para la eutrofización del lago.

Maanan et al. (2004) estudiaron los sedimentos de la laguna de Sidi Moussa en la costa atlántica de Marruecos fueron analizados para evaluar su contenido de metales pesados. Se identificaron dos grupos de metales: Al, Fe y Cu, con niveles cercanos al fondo geoquímico natural, sugiriendo un origen natural; y Zn, Cr y Ni, con concentraciones superiores, indicando contaminación antropogénica. El índice de geoacumulación mostró una contaminación moderada. Según estándares de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Journal of Great Lakes Research 11 (1985) 353), los sedimentos de Sidi Moussa están ligeramente contaminados para Cu, Zn, Cr y Ni, destacando el impacto de factores naturales y humanos en su calidad.

Flores et al. (2018) estudiaron la Laguna de las Ilusiones en Villahermosa, Tabasco, México, se realizó un estudio sobre parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimentos superficiales. Se tomaron muestras en tres zonas para análisis exploratorio. Los parámetros del agua, como pH (8,9 – 9,6), conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y materia orgánica, fueron medidos in situ. En los sedimentos, el pH varió de moderadamente ácido a medianamente alcalino. Los metales pesados en el agua (Cd, Ni, Cr, Mn, Zn, Al, Pb) cumplen con la normativa mexicana NOM-001-Semarnat - 1996, pero en los sedimentos, las concentraciones de estos metales superan los límites establecidos por normas canadienses y estadounidenses. La contaminación se atribuye a descargas ilegales de aguas residuales, desechos hospitalarios y filtración desde otras lagunas contaminadas cercanas.

Narayan et al. (2020) en su estudio analizaron los efectos de los residuos de refinación de alúmina en ecosistemas acuáticos mediante la evaluación de parámetros del agua, sedimentos y concentraciones de metales pesados en la macrófita acuática *Paspalum repens* en tres lagunas en la llanura aluvial del río Orinoco. Se encontraron altos niveles de Al, Pb, Cr y Cu en los sedimentos de las lagunas contaminadas, especialmente en Macanillal, comparadas con la laguna no contaminada Las Aruhacas. Durante la etapa de aguas altas, los parámetros del agua retornaron a valores naturales debido a la inundación del río. *P. repens* mostró acumulación de Cr, pero no hubo diferencias significativas entre las plantas de lagunas contaminadas y no contaminadas, sugiriendo limitaciones para su uso en biomonitorización de metales pesados en estos ambientes afectados por residuos alcalinos.

Navarrete-Rodríguez et al. (2020) analizaron las concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los sedimentos del sistema fluvial-lagunar-deltaico del río Palizada en Campeche, destacando su importancia en relación con la Laguna de Términos, un ecosistema más extenso. Se observó que el Cd mostró niveles superiores al Pb en diferentes sitios de muestreo y estaciones climáticas, alcanzando un máximo de $53,9 \pm 5,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, mientras que el Pb tuvo una concentración de $10,4 \pm 0,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Los índices de contaminación y geoacumulación indicaron un mayor enriquecimiento de Cd, lo que sugiere que la contaminación de estos metales proviene principalmente de actividades humanas.

Esta contaminación plantea un riesgo ecológico significativo debido a la alta toxicidad de estos metales, incluso a concentraciones relativamente bajas, subrayando la necesidad urgente de monitoreo continuo para evaluar los efectos en la biota del sistema Palizada, que es crucial para la conservación de la vida acuática y terrestre en la región.

Bernardello et al. (2006) llevaron a cabo un estudio en la Laguna de Venecia para evaluar la evolución de la contaminación durante un período de 12 años (1987, 1993, y 1998) en 25 ubicaciones distribuidas uniformemente en su parte central. Se analizaron sedimentos superficiales para metales pesados, carbono orgánico total, tamaño de grano y densidad. Se observó que los niveles de metales pesados, como el mercurio, inicialmente elevados en 1987, mostraron una tendencia a disminuir con el tiempo. La contaminación fue más pronunciada cerca de la zona industrial de Porto Marghera en el borde de la laguna, destacando la influencia de esta área como fuente de contaminantes.

Zhang et al. (2007) estudiaron la presencia de metales pesados en sedimentos superficiales de la Bahía Occidental de Xiamen y áreas adyacentes, destacando la influencia de la urbanización y el desarrollo económico en Xiamen, China. Se encontraron concentraciones variables de Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Ni y Fe, todas dentro de los estándares nacionales chinos para sedimentos marinos, aunque el análisis de factores de enriquecimiento e índice de geoacumulación indicó contaminación por Pb en toda el área estudiada. Las fuentes principales de contaminación fueron identificadas como vertidos de aguas residuales y actividades portuarias. Este estudio resalta la importancia de utilizar múltiples enfoques para evaluar exhaustivamente la calidad del sedimento, ya que los estándares solos pueden no captar completamente la contaminación presente.

El-Said et al. (2014) estudiaron la distribución de metales pesados (Co, Cu, Ni, Cr, Mn, Zn y Fe) en los sedimentos superficiales del Lago Edku, considerando sus características sedimentológicas y geoquímicas, así como su impacto ecológico. Los sedimentos del lago mostraron predominio de texturas limo arenosas y arena limosa, con un contenido significativo de carbonatos (9,83 % – 58,46 %). Hierro y manganeso fueron los metales más abundantes, con concentraciones variando entre 1,69 y 8,06 mg/g y 0,88 a 3,27 mg/g

respectivamente. Cobalto y níquel exhibieron una distribución uniforme en los sedimentos estudiados. Se aplicaron diversos índices para evaluar el riesgo ecológico y la contaminación por metales pesados, destacando el zinc como el metal con mayor riesgo ecológico. En resumen, los sedimentos superficiales del Lago Edku evidenciaron un riesgo ecológico moderado a considerable debido a la presencia de metales pesados, especialmente en áreas cercanas al agua de mar y fuentes de drenaje identificadas como prioritarias por su toxicidad.

Kouame et al. (2020) estudiaron los factores biogeoquímicos que influyen en la dinámica del mercurio (Hg) en la Laguna Ebrié, un metal poco estudiado en este entorno. Se realizaron muestreos regulares durante la temporada seca y de lluvias para analizar sedimentos y peces (*Tilapia* sp.), midiendo parámetros fisicoquímicos *in situ* como temperatura, pH, salinidad, potencial redox, oxígeno disuelto, carbono orgánico total, nitratos y sulfatos, junto con parámetros microbiológicos como células cultivables, actividad enzimática total y actividad catabólica. Análisis estadísticos multivariados se emplearon para entender las variaciones estacionales en las relaciones entre Hg y los parámetros biogeoquímicos, destacando la influencia más pronunciada en la temporada seca.

Conti et al. (2012) caracterizaron los procesos sedimentarios en el estuario de la Ensenada de Cananéia, utilizando datos integrados de GIS. Se investigaron los parámetros de sedimentos, la morfología del fondo y se modelaron los patrones de transporte sedimentario. Se encontró una correlación fuerte entre los modelos de transporte de sedimentos basados en el tamaño de grano y el modelo hidrodinámico, especialmente en áreas con alta energía, con menos sedimentos finos. La materia orgánica en los sedimentos complementó la comprensión de las condiciones hidrodinámicas y deposicionales, incluyendo la productividad primaria y las tasas de sedimentación.

Tapia y Audry (2013) utilizaron técnicas mineralógicas y geoquímicas para estudiar sedimentos afectados por minería y fundición en el Lago Uru Uru y la Laguna Cala Cala, junto con un sitio de referencia no afectado en el Altiplano Boliviano. Se encontró que los metales trazan y metaloides en el Lago Uru Uru están principalmente asociados con oxihidróxidos de hierro y manganeso, sulfuros autigénicos y partículas silicáticas. La mineralización de la materia orgánica

afecta la movilidad de elementos como el arsénico y cadmio, influenciada por la evaporación estacional del agua superficial y los procesos redox en los sedimentos.

Farhat y Aly (2018) evaluaron las características sedimentológicas y la contaminación por metales pesados en dos ensenadas del Lago Nasser. Se analizó el tamaño de grano, la textura, el transporte sedimentario, los metales pesados y la materia orgánica en muestras de sedimentos. Se observó que las diferencias en el tamaño de grano estaban influenciadas por la ubicación geográfica. La distribución de metales pesados fue determinada principalmente por la textura del sedimento y la materia orgánica, siendo esta última más crucial que el tamaño de grano para explicar su distribución. Se concluyó que los metales provienen principalmente de las aguas de inundación y no tanto de fuentes antropogénicas directas. Los índices de contaminación indicaron que la ensenada sur mostró niveles más altos de contaminación, posiblemente debido a la mayor retención de materia suspendida que llega con las inundaciones.

Rydberg et al. (2012) el estudio evaluó la variabilidad de total-Hg y metil-Hg en sedimentos superficiales del lago Stor-Strömsjön en Suecia, usando 83 muestras. Se encontró que las concentraciones de total-Hg se explican en gran parte por la materia mineral fina y orgánica, con inventarios más altos en áreas con mayor contenido de material mineral fino. Las concentraciones de metil-Hg estuvieron influenciadas principalmente por la profundidad del agua y la concentración de azufre, mostrando una distribución irregular en los sedimentos. Este hallazgo destaca la importancia de considerar la variabilidad espacial al estudiar el ciclo y la deposición histórica de mercurio en los lagos.

Sahoo et al. (2015) estudiaron los sedimentos superficiales de un lago en Carajás, Amazonia, para entender la distribución espacial de elementos y procesos deposicionales. Se identificó una predominancia de origen autóctono para la materia orgánica en el centro del lago, mientras que en las áreas superficiales predominaba un origen alóctono derivado de plantas de bosques C3. Los sedimentos mostraron enriquecimiento de Fe_2O_3 en el centro debido a la erosión de lateritas y topografía submarina, y enriquecimiento de Al_2O_3 y P_2O_5 cerca del borde norte por meteorización de rocas máficas.

Bao et al. (2015) el estudio se centró en el lago Chungará, en el Altiplano Andino Central de Chile, para explorar cómo las fluctuaciones a largo plazo del nivel del lago y la morfometría influyen en la productividad lacustre y en la respuesta a cambios climáticos. Se revisaron datos anteriores y nuevos sobre carbono orgánico, sílice biogénica, composición isotópica de la materia orgánica, carbonatos, frústulas de diatomeas y la presencia de *Botryococcus braunii* en núcleos sedimentarios datados entre 12,400 y 1,300 años cal BP. La productividad biosilíceas en el lago fue afectada por variaciones en los aportes de nutrientes relacionados con cambios en la precipitación. Fases húmedas coincidieron con altas productividades, mientras que fases áridas con reducciones. La morfometría del lago también jugó un papel crucial, influenciando la productividad a través de cambios en la relación área del epilimnion.

1.2.2 Nacionales

Custodio y Peñaloza (2021) analizaron la calidad del agua en lagunas altoandinas turísticas durante 2017 y 2018, usando métodos estadísticos multivariados. Muestras de 14 sitios, con tres réplicas cada uno, revelaron seis grupos distintos mediante análisis de clúster. El análisis SIMPROF mostró diferencias significativas, y el PCA explicó el 61,52 % de la variación. El análisis PERMANOVA indicó diferencias significativas en características físico-químicas entre grupos. La variable más relevante fue el total de sólidos disueltos (puntuación de 0,795). El estudio destaca la heterogeneidad en la calidad del agua y la importancia de los factores espaciales.

Salas-Mercado (2022) resaltó la importancia de los lagos glaciales como cruciales fuentes de agua en las cabeceras de cuencas, esenciales para numerosos ríos y comunidades aguas abajo. Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan amenazas crecientes por contaminación metálica, atribuida al retroceso glaciar y actividades humanas. El estudio de Salas se centró en discernir entre la contaminación natural y antropogénica en los lagos Rinconada y Sibinacocha de los Andes. Mediante muestreos de sedimentos superficiales por transectos, se evaluaron propiedades como profundidad, tasa de erosión y granulometría, junto con concentraciones de ocho metales tóxicos. Métodos multivariados y un proxy geoquímico se utilizaron para identificar la procedencia de los metales en estudio.

1.2.3 Locales

Hanco-capajaña (2018) evaluó la concentración de metales pesados y los niveles de toxicidad en la Laguna Choquene Quilcapunco Putina, influenciados por el estado de oxidación de los minerales sulfurados en los diques de las minas. Durante las estaciones lluviosas y secas, el agua de escorrentía disuelve estos minerales, cuyo lixiviado se vierte en la laguna. Las concentraciones de metales pesados encontradas fueron: cobre (0,40 - 0,08 ppm), arsénico (0,10 - 2,50 ppm), plomo (0,06 - 0,12 ppm), hierro (0,06 - 0,60 ppm) y plata (0,00 - 0,02 ppm). Sin procesos de remediación, se detectaron concentraciones anómalas de cobre (24,5 ppm), plomo (27,6 ppm) y arsénico (1400 ppm), minerales que generan drenaje ácido de mina.

Salas-Ávila et al. (2024) examinaron la contaminación por metales pesados en los sedimentos de la Laguna Umayo, integrando aspectos socioambientales para identificar sus fuentes. Se determinaron y evaluaron las concentraciones de As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn según normativas internacionales, lo que permitió crear mapas de distribución para localizar zonas de acumulación de diferentes metales y sugerir sus posibles orígenes. Los resultados evidenciaron contaminación por As (18,11 mg/kg), Hg (0,19 mg/kg) y Cd (0,96 mg/kg), posiblemente por actividades mineras, plantas de lácteos y agricultura. En términos sociales, se evidenciaron intensas emociones entre los moradores locales, incluyendo ansiedad y miedo debido a brotes de enfermedades y mortalidad de ganadería vinculadas con la contaminación por metales. Esta investigación permitió identificar eficientemente las fuentes de contaminación en la Laguna Umayo, alineando las percepciones sociales con los hallazgos científicos.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

La contaminación de lagunas por metales pesados es un problema ambiental de ámbito global que afecta tanto a ecosistemas acuáticos y a la salud humana. Los metales pesados son duraderos en el medio ambiente, no se descomponen fácilmente y pueden ser tóxicos en concentraciones elevadas. La actividad económica, particularmente la minería, la agricultura y la industria, ha incrementado la liberación de estos contaminantes en el medio ambiente (Alloway, 2013). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2007), los metales pesados, una vez liberados, permanecen en circulación y son solubles en agua, impregnándose en las partículas del suelo y sedimentos acuáticos, donde pueden bioacumularse en la cadena alimentaria, causando efectos perjudiciales en organismos humanos y acuáticos (Jaishankar et al., 2014).

En América Latina, y específicamente en Perú, la contaminación de agua (loticos y lenticos) por metales pesados es una inquietud creciente debido a la intensa actividad minera. En la región Puno la cuenca del río Ramis es un claro ejemplo de esta problemática. La minería, tanto formal como informal, ha contribuido significativamente a la contaminación con metales pesados como plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn) (Londoño Franco et al., 2016). Estas actividades no solo impactan el medio ambiente, sino que también ponen en riesgo la salud de las comunidades locales que dependen de estos recursos hídricos para su consumo y actividades agropecuarias (Gaibor-Ontaneda y Molina-Torres, 2024).

El lago Rinconada, es particularmente vulnerables a la contaminación debido a su ubicación en las cabeceras de cuenca y su papel como fuentes de agua potable. El lago Rinconada, situada en la región de Puno, es un lago glaciar que alimenta la cuenca del río Ramis. Esta cuenca es uno de los afluentes más importantes del lago Titicaca, pero actualmente está severamente afectada por los residuos de la actividad minera (Fontúrbel, 2008). Los metales pesados resultantes de estas actividades, como el plomo, el arsénico y el cadmio, superan los estándares de calidad ambiental establecidos por la legislación nacional y extranjera, afectando negativamente a las poblaciones aguas abajo (Autoridad Nacional de Agua (ANA), 2015).

Las características de los sedimentos del lago Rinconada juegan un papel crucial en la dinámica de los metales pesados. La MO y la granulometría de los sedimentos pueden influir significativamente en la distribución y disponibilidad de estos contaminantes. Los sedimentos con alta concentración de materia orgánica pueden adsorber más metales pesados, debido a la capacidad de los compuestos orgánicos para formar complejos estables con metales (Li et al., 2020). La granulometría del sedimento, puede determinar la superficie específica disponible para la adsorción de metales, puesto que las partículas más finas son más efectivas en la adsorción por su mayor área superficial (Zafra Mejía, 2011).

A pesar de la gravedad de la contaminación por metales pesados en lagos glaciares como el lago Rinconada, existe un vacío significativo en la investigación sobre cómo la materia orgánica y la granulometría de los sedimentos afectan la distribución y la biodisponibilidad de metales pesados esenciales como Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn). La mayoría de los estudios se han centrado en los niveles de contaminación sin explorar en profundidad las interacciones complejas entre estos factores sedimentarios y la movilidad de los metales (Ali y Talabani, 2018).

Dada la importancia de comprender estas interacciones para el desarrollo de estrategias de remediación y la protección de recursos hídricos, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

2.2 Enunciados del problema

En este sentido, se establece las siguientes preguntas de investigación.

2.2.1 Problema general

- A. ¿Cuál es la influencia de la materia orgánica y la granulometría en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno?

2.2.2 Problemas específicos

- B. ¿Cuál es el porcentaje y la distribución de la materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada, Puno?

- C. ¿Cuál es la fracción granulométrica predominante de los sedimentos y cuál es su distribución en el lago Rinconada, Puno?
- D. ¿Cuál es la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada?
- E. ¿Cómo influye el porcentaje de la materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales de los sedimentos del lago Rinconada?

2.3 Justificación

La investigación propuesta responde a la creciente preocupación por la contaminación de cuerpos de agua por metales pesados, una problemática ambiental de escala global que afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana. En el contexto de Perú, y específicamente en la región Puno, la intensa actividad minera ha contribuido significativamente a la contaminación de cuerpos de agua como la cuenca del río Ramis y, por ende, al lago Rinconada.

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de comprender cómo la materia orgánica y la distribución granulométrica de los sedimentos están influyendo en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en el lago Rinconada, Puno. Puesto que estos metales pesados son perennes en el medio ambiente y pueden ser tóxicos en concentraciones altas, es esencial comprender cómo interrelacionan con los componentes sedimentarios del ecosistema acuático.

El lago Rinconada, al ser una fuente de agua potable y estar ubicado en la parte alta de la cuenca, es vulnerable a la contaminación por metales pesados provenientes de la actividad minera. Por ende, comprender las interacciones entre la MO, la granulometría de los sedimentos y la distribución de metales pesados es fundamental diseñar estrategias efectivas de mitigación y protección del recurso hídrico vital.

El estudio propuesto busca llenar un vacío significativo en la literatura científica al explorar en profundidad las complejas interacciones entre estos factores sedimentarios y la movilidad de los metales pesados en el lago Rinconada. Al abordar estas preguntas de investigación, se espera contribuir al desarrollo de estrategias de remediación y

protección de recursos hídricos en Perú, así como a la generación de conocimiento científico en el campo de la geoquímica ambiental.

En resumen, este estudio no solo responde a la necesidad de comprender un problema ambiental en la región de Puno, en cambio también ofrece la oportunidad de generar información científica aplicable y relevante para el cuidado de cuerpos de agua afectados por la contaminación por metales pesados en América Latina y a nivel global.

2.4 Objetivos

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

2.4.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la materia orgánica y la distribución granulométrica en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje y la distribución de la materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada, Puno
- Determinar la fracción granulométrica predominante de los sedimentos y cuál es su distribución en el lago Rinconada, Puno
- Determinar la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada
- Determinar la influencia del porcentaje de la materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales de los sedimentos del lago Rinconada

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- Existe una correlación significativa entre la cantidad de materia orgánica, la distribución granulométrica, la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno.

2.5.2 Hipótesis específicas

- A mayor porcentaje de materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada, Puno, se observará una mayor concentración de metales pesados esenciales.
- La fracción granulométrica predominante de los sedimentos del lago Rinconada, Puno, influirá en la distribución espacial de los metales pesados esenciales, siendo las partículas más finas asociadas con una mayor concentración de metales.
- La disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno, variará según la ubicación de las fuentes de contaminación.
- El porcentaje de materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en los sedimentos del lago Rinconada, Puno, influirán en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales, con una mayor materia orgánica y una fracción más fina asociadas con una mayor disponibilidad de metales.

CAPÍTULO III

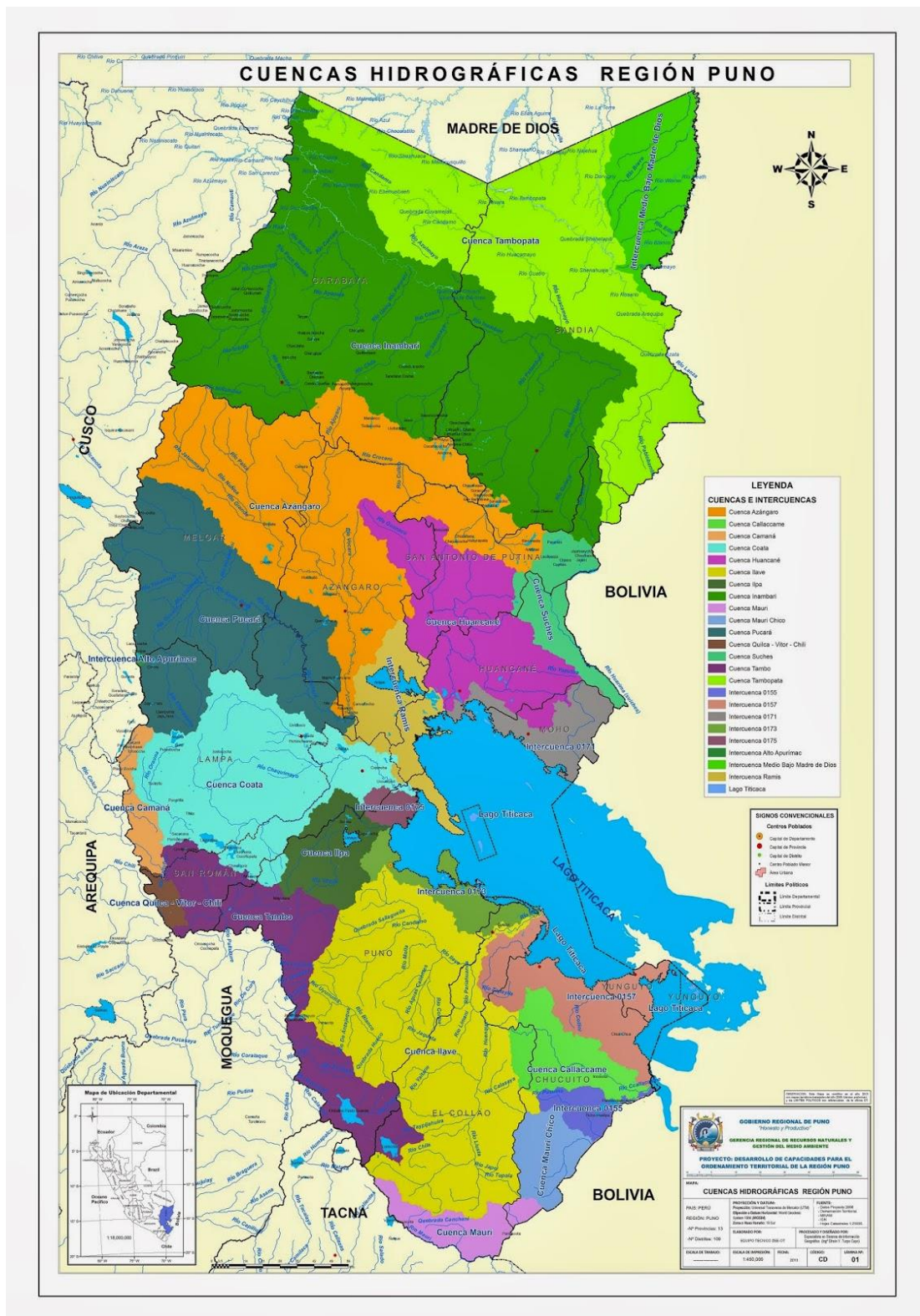
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

La laguna Rinconada, ubicada en la región de Puno, Perú, es un cuerpo de agua natural que se caracteriza por su entorno montañoso y su origen glaciar, se encuentra en las coordenadas geográficas 14,64° sur y 69,48° oeste. Este cuerpo de agua forma parte de uno de los principales sistemas hídricos de la región, ya que es una cabecera de la cuenca del Ramis, siendo una importante fuente de agua dulce. Rodeada de paisajes impresionantes y alimentada por el deshielo de glaciares cercanos, el lago Rinconada ofrece un entorno natural diverso, que incluye áreas de vegetación escasa y montañas circundantes. Sin embargo, a pesar de su belleza natural, enfrenta desafíos ambientales debido a la actividad minera artesanal en las áreas circundantes (Cuentas y Velarde, 2017).

El lugar de estudio se centra específicamente en la laguna Rinconada, como parte de un proyecto de investigación sobre la influencia de la materia orgánica y la distribución granulométrica en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos. Esta laguna se encuentra en la cabecera de cuenca del río Ramis, un afluente importante del lago Titicaca, lo que resalta su relevancia ambiental y su conexión con otros cuerpos de agua de la región (Goyzueta y Trigos, 2009).

Figura 3
Las cuencas e intercuencas



Nota. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente.

f fuente hídrica importante para la región. Su tamaño y ubicación la convierten en un recurso fundamental para las comunidades locales, proporcionando agua para el consumo humano, la agricultura y otras actividades económicas (Wieland, 2020). Además, la laguna sirve como hábitat para diversas especies acuáticas y es un importante sitio para la pesca artesanal, que contribuye significativamente a la economía y el sustento de las poblaciones aguas abajo.

3.3 Muestra

Para este estudio se aplicó un muestreo sistemático por cuadrantes, este muestreo es un método probabilístico, ya que implica la selección aleatoria de un punto inicial dentro de la cuadrícula y luego la selección sistemática de los puntos de muestreo en intervalos regulares a lo largo de la cuadrícula (Salas-Ávila et al., 2024). Aunque la selección inicial puede ser aleatoria, la distribución sistemática de los puntos garantiza que cada área dentro de la cuadrícula tenga la misma probabilidad de ser seleccionada. Esto asegura una representación equitativa de la diversidad de condiciones dentro del área de estudio. Para la selección de la muestra se utilizó el procedimiento antes mencionado con un espaciamiento de 1500 m x 1500 m (Salas-Mercado et al., 2023), en los cuales se aleatorizaron para mejorar la probabilidad, seleccionando 8 puntos de muestreo.

De los puntos seleccionados aleatoriamente cuatro de ellos se ubican en la parte superior de la laguna, cercanos a las actividades de: minería subterránea, plantas metalúrgicas y la población de lunar de oro (LO). Los cuatro restantes se ubican en la parte inferior de la laguna cercada a zona de bofedales y a la minería a cielo abierto (aluvial).

Figura 5

Cuencas



Nota. Autoridad Nacional del Agua – ANA.

Figura 6

Puntos de muestreo de la laguna Rinconada

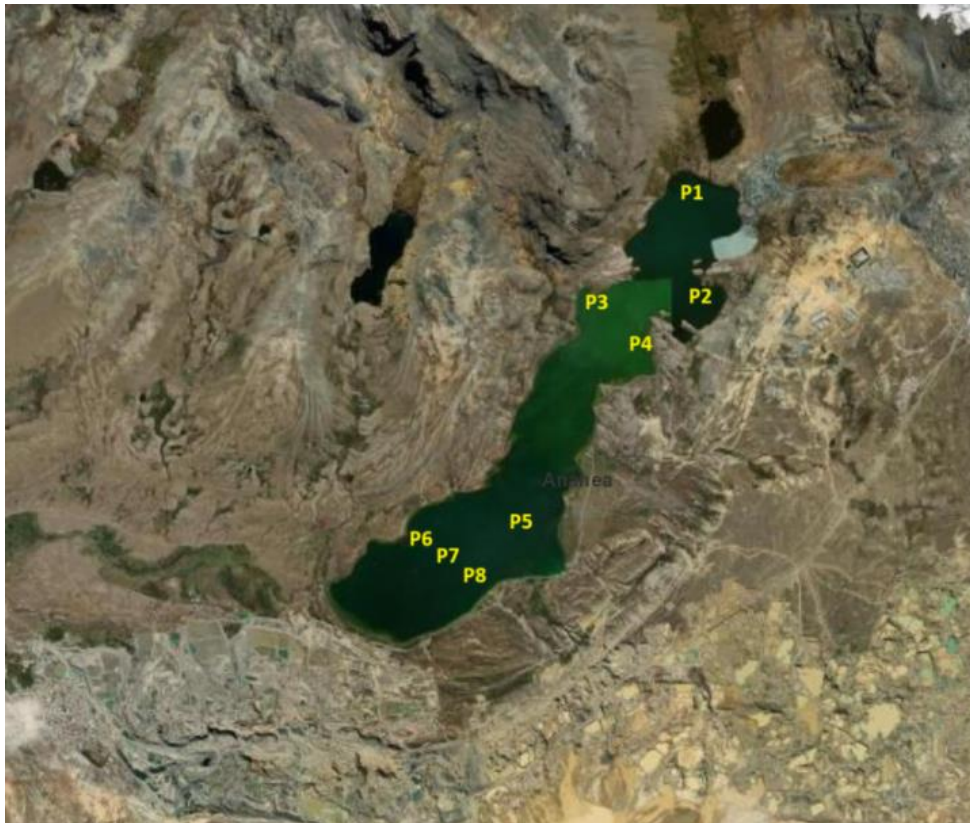


Tabla 1

Coordenadas de los puntos de muestreo

Puntos de Muestreo	Coordenadas UTM -WGS84 19L	
	Este	Norte
P1	448738	8382620
P2	448873	8381530
P3	447743	8381455
P4	448189	8381047
P5	446990	8379228
P6	445985	8379074
P7	446260	8378871
P8	446513	8378656

3.4 Método de investigación

El presente estudio posee un nivel de investigación Correlacional porque pretende encontrar relaciones entre la materia orgánica, la granulometría y los metales pesados en el lago Rinconada.

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Al ser un estudio de nivel correlacional todas las variables son dependientes ya que no se manipulará ninguna.

A. OE1: Materia Orgánica

Unidad de medida (%), variable de tipo continua ya que se utilizará instrumentos para medir.

B. OE2: Granulometría

Unidad de medida (%), variable de tipo continua ya que se utilizará instrumentos para medir.

C. OE3: Metales pesados esenciales

Unidad de medida (mg/kg), variable de tipo continua ya que se utilizará instrumentos para medir.

D. OE4

Para este objetivo se tiene todas las variables Materia orgánica, Granulometría y Metales pesados esenciales, para determinar su relación.

3.5.2 Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros

A. OE1

En primer lugar, se recolectaron 200 gramos de sedimento superficial, los cuales fueron codificados y almacenados en bolsas Ziploc para su transporte al laboratorio de la UNA Puno. En el laboratorio, se

eliminó manualmente cualquier material no deseado, como raíces y ramas. Posteriormente, 20 gramos de cada muestra se secaron a 105°C durante 12 horas. A continuación, se determinó el contenido de materia orgánica en las muestras mediante el método de pérdida por ignición (LOI550), siguiendo el procedimiento descrito por Heiri et al., (2001). Para ello, se extrajo una muestra de 2 gramos que se expuso a una temperatura de 550°C durante 4 horas en una mufla, conforme al método establecido por Santisteban et al., (2004).

B. OE2

En primer lugar, se recolectaron 750 gramos de sedimento superficial del fondo del lago Rinconada, los cuales fueron codificados y almacenados en bolsas Ziploc para su posterior transporte a los laboratorios de la UNA Puno. En el laboratorio, se retiraron manualmente las raíces, ramas y otros materiales no deseados. A continuación, las muestras fueron secadas en una estufa a 115°C durante 24 horas.

Se definió el intervalo de abertura de los tamices utilizando la escala de tamaño de grano Udden-Wentworth, que se mide en unidades de phi (ϕ), según lo propuesto por Setiawan et al., (2019), quienes se basaron en los trabajos pioneros de Udden (1914) y Wentworth (1922). Posteriormente, se procedió al análisis de tamizado, empleando siete tamices con diferentes rangos de tamaño (menos de 2 mm, 2 - 1 mm, 1 - 0,5 mm, 0,5 - 0,25 mm, 0,25 - 0,125 mm, 0,125 - 0,063 mm y cacerola).

C. OE3

Se tomarán muestras de sedimento de 250 g de los primeros 5 cm de la superficie del fondo de los lagos en cada punto de estudio para análisis químicos. Estas muestras se almacenarán en bolsas Ziploc y se mantendrán en condiciones de oscuridad a 4 °C en un cooler hasta que sean transportadas al laboratorio. El análisis de metales esenciales se realizará utilizando espectrometría de emisión óptica de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES) en un laboratorio certificado en la ciudad de Arequipa. Se empleará el método USEPA 7471B para determinar metales

como Cr, Cu, Fe, Mn y Zn (METHOD 3050B Acid Digestion Of Sediments, Sludges And Soils, 1996). Las concentraciones obtenidas se compararán con el EPA y OMS.

D. OE4

Primeramente, se aplicó la prueba de correlación de Spearman, debido a que los datos no presentaron una distribución normal. Como en estudios ambientales la correlación es variable debido al número de muestras y/o complejidad de las relaciones (Salas-Mercado et al., 2023), por su posible inexistencia de significancia a pesar de tener grado de asociaciones fuertes, se utilizó un análisis de clúster o también conocido análisis de agrupamiento, el cual es un método estadístico utilizado para identificar patrones, siendo el método de agrupamiento jerárquico el más utilizado para poder organizar las variables según su jerarquía de similitud.

El análisis de clúster jerárquico parte de la matriz de distancias que se obtiene de los valores de correlación entre las variables. Se calcula la distancia entre cada par de variables (Ec. 1). Con esta matriz de distancias, se aplica el algoritmo de aglomeración jerárquica, que va uniendo las variables en grupos (clústeres) hasta formar una estructura jerárquica representada por el dendograma (Salas-Mercado et al., 2023).

$$\text{Distancia} = 1 - \text{Correlación} \qquad \text{Ec. 1}$$

3.5.3 Aplicación de prueba estadística inferencial

Para el presente estudio los tres primeros objetivos son de nivel descriptivo por lo cual se utilizará estadística descriptiva con el fin evidenciar las medidas centrales y de dispersión. Además de utilizar estadística de frecuencias para determinar las fracciones predominante de la granulometría.

Por otra parte, para el cuarto objetivo se utilizó una prueba de correlación de Spearman debido a que la distribución de los datos no fue normal., la cual es una prueba no paramétrica. Donde se considerará el siguiente criterio 0 – 0,3 (no presenta relación); 0,31 – 0,70 (relación moderada) y 0,71 – 1 (relación fuerte)



para asociaciones positivas y las negativas se tomarán con el mismo rango, pero con signo negativo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Porcentaje y distribución de la materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada

En la Tabla 2, se observa el porcentaje de Materia Orgánica (MO) en distintos puntos de muestreo aleatorizados, de los cuales en forma descendente es el siguiente: P6 > P5 > P3 > P7 > P8 > P1 > P2 > P4. Además, los valores de las desviaciones estándar asociadas a cada punto reflejan la variabilidad en los datos donde los valores mayores a 1 indican para este estudio una mayor dispersión en las mediciones y menores a 0,5 tienen mayor consistencia.

Tabla 2

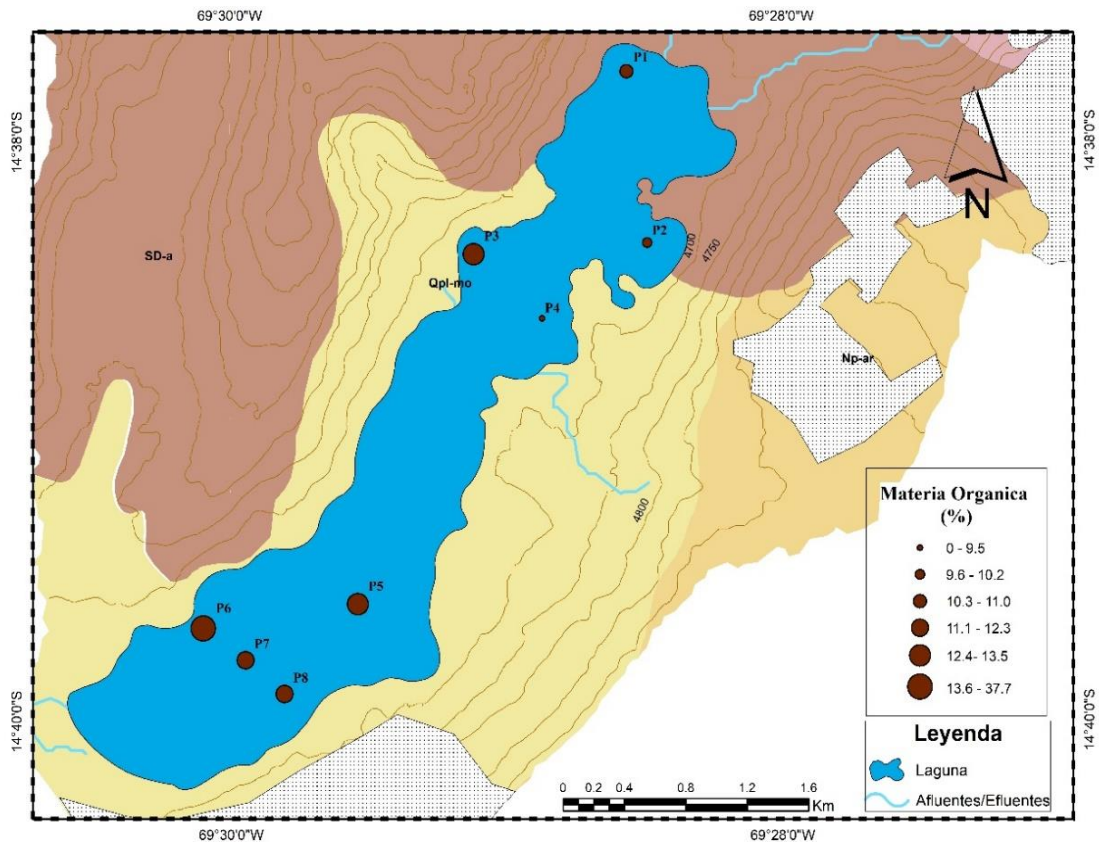
Porcentaje de materia orgánica según puntos de muestreo

Puntos de Muestreo	Materia Orgánica (%)	SD (%)
P1	11,03	1,31
P2	10,25	0,33
P3	13,23	1,07
P4	9,58	0,21
P5	13,55	0,41
P6	37,75	1,96
P7	12,33	0,48
P8	12,23	1,02

En la Figura 7, se observa la distribución del porcentaje de materia orgánica en el interior de la laguna Rinconada, Los puntos P1, P2 y P4 son los más cercanos a las actividades minero metalúrgicas y a la población LO, por otra parte, el punto P8 es el más cercano a la actividad minera aluvial y el P7 se encuentra en la zona más profunda según Salas-Mercado et al. (2023) con 28,3 metros. Además, se puede evidenciar que los mayores valores de MO se encuentran en la parte inferior de la laguna (PIL), mientras que los menores valores se encuentran en la parte superior de la laguna (PSL) a excepción del punto 3.

Figura 7

Distribución de la materia orgánica en la laguna Rinconada



4.1.2 Fracción granulométrica predominante de los sedimentos y su distribución en el lago Rinconada

En la Tabla 3 se muestran los porcentajes de los diferentes tamaños de partículas en los puntos de muestreo. En general, las fracciones de arenas finas y muy finas predominan en la mayoría de los puntos, con P6 destacándose por una mayor proporción en limos-arcillas y arenas muy finas, mientras que P2 y P8 en arenas finas. Los puntos P3 y P5 tienen una mayor representación de arenas medianas. Por otro lado, P4 y P5 son las estaciones con mayor presencia de Arena gruesa y muy gruesas.

Tabla 3

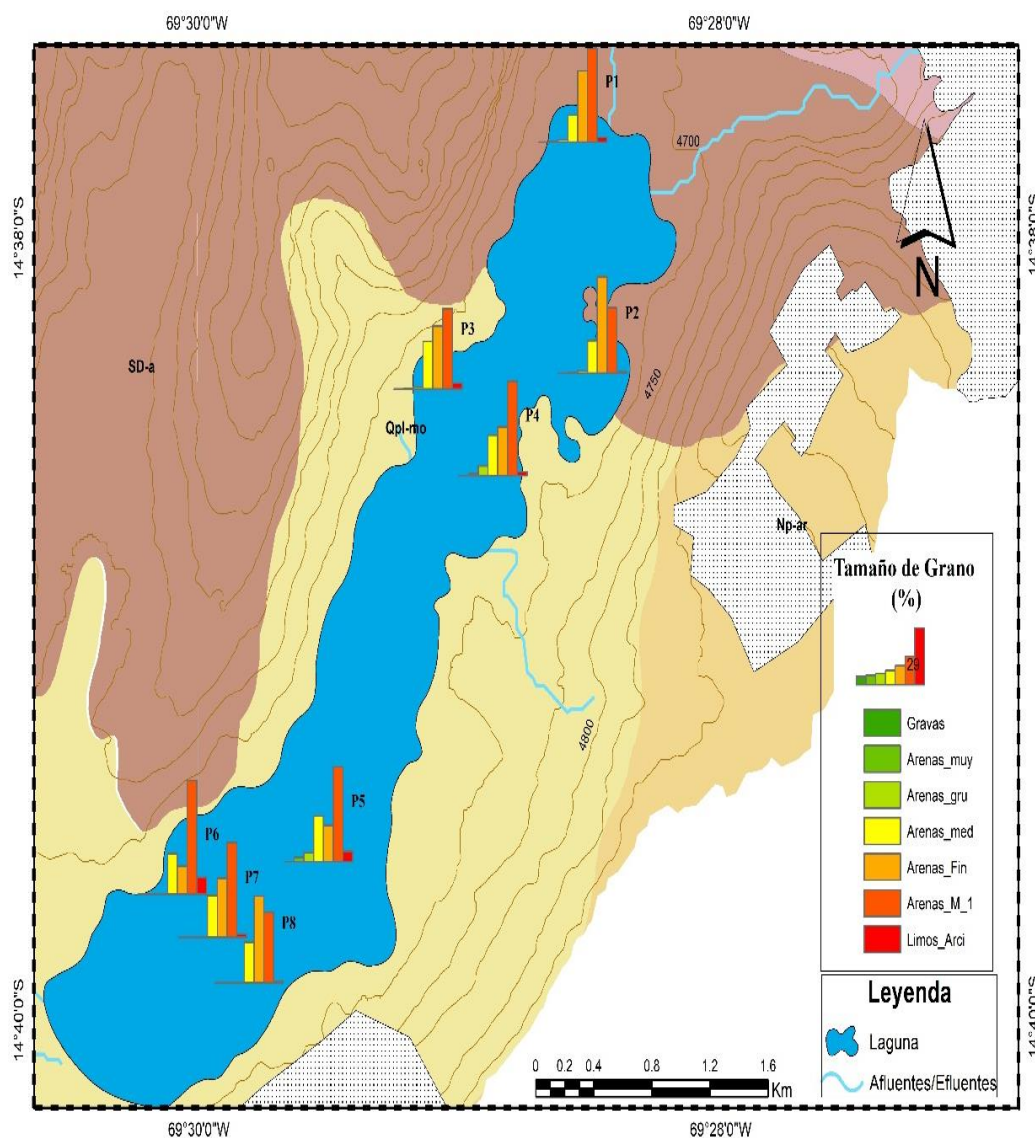
Distribución granulométrica del sedimento de la laguna Rinconada

Puntos de muestreo	Gravas	Arenas muy gruesas	Arenas gruesas	Arenas medianas	Arenas Finas	Arenas Muy finas	Limos-Arcillas
	> 2 mm	(2:1mm)	(1:0.5mm)	(0.5:0.25 mm)	(0.25:0.125 mm)	(125:63 um)	63 um >
	%	%	%	%	%	%	%
P1	0	0,50	1,06	13,50	35,66	46,99	2,29
P2	0	0,51	1,23	16,34	48,45	32,78	0,69
P3	0	0,10	1,15	23,97	31,56	40,26	2,96
P4	0	1,00	4,84	20,31	24,50	47,33	2,02
P5	0	2,02	4,44	22,84	18,11	47,51	5,07
P6	0	0,00	0,15	20,33	14,02	57,06	8,44
P7	0	0,00	0,12	21,05	29,62	47,56	1,66
P8	0	0,00	0,00	20,48	43,42	35,42	0,69
Promedio	0	0,52	1,62	19,85	30,67	44,36	2,98

De la Figura 8 se observa que la PSL en el P1 está cercano a los afluentes de la minería subterránea y la población LO, posee predominancia de Arenas muy finas al igual que P3 y P4 las cuales se encuentran aledañas a zonas con pendiente pronunciada, mientras que, el P2 tiene una predominancia de arenas finas. Por otro lado, en la PIL el punto más cercano a la minería aluvial (P8) presenta el mayor tamaño de grano (Arenas Finas) de esa zona, mientras que los demás puntos son arenas muy finas con mayor proporción el P6.

Figura 8

Distribución espacial del tamaño de grano según punto de muestreo de los sedimentos



4.1.3 Disponibilidad espacial de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada

En la Tabla 4 se observa las concentraciones de los cinco metales esenciales de este estudio en distintos puntos de muestreo aleatorizados, todos los puntos de muestreo superaron los límites de detección (LD) y de cuantificación (LQ). Los valores máximos de los metales se ordenaron en forma descendente: Fe > Mn > Zn > Cu > Cr. Además, se observó que los valores de concentración crítica (CC) establecidas por el EPA y la OMS, el Fe supera el rango crítico en todos los

puntos de muestreo, así mismo el Mn supera el mismo rango en los puntos P4, P6 y P8. Además, el Zn, supera el CC casi todos los puntos, a excepción de P4 y P6.

Tabla 4

Concentración de los metales pesados esenciales en sedimentos de la laguna

Rinconada

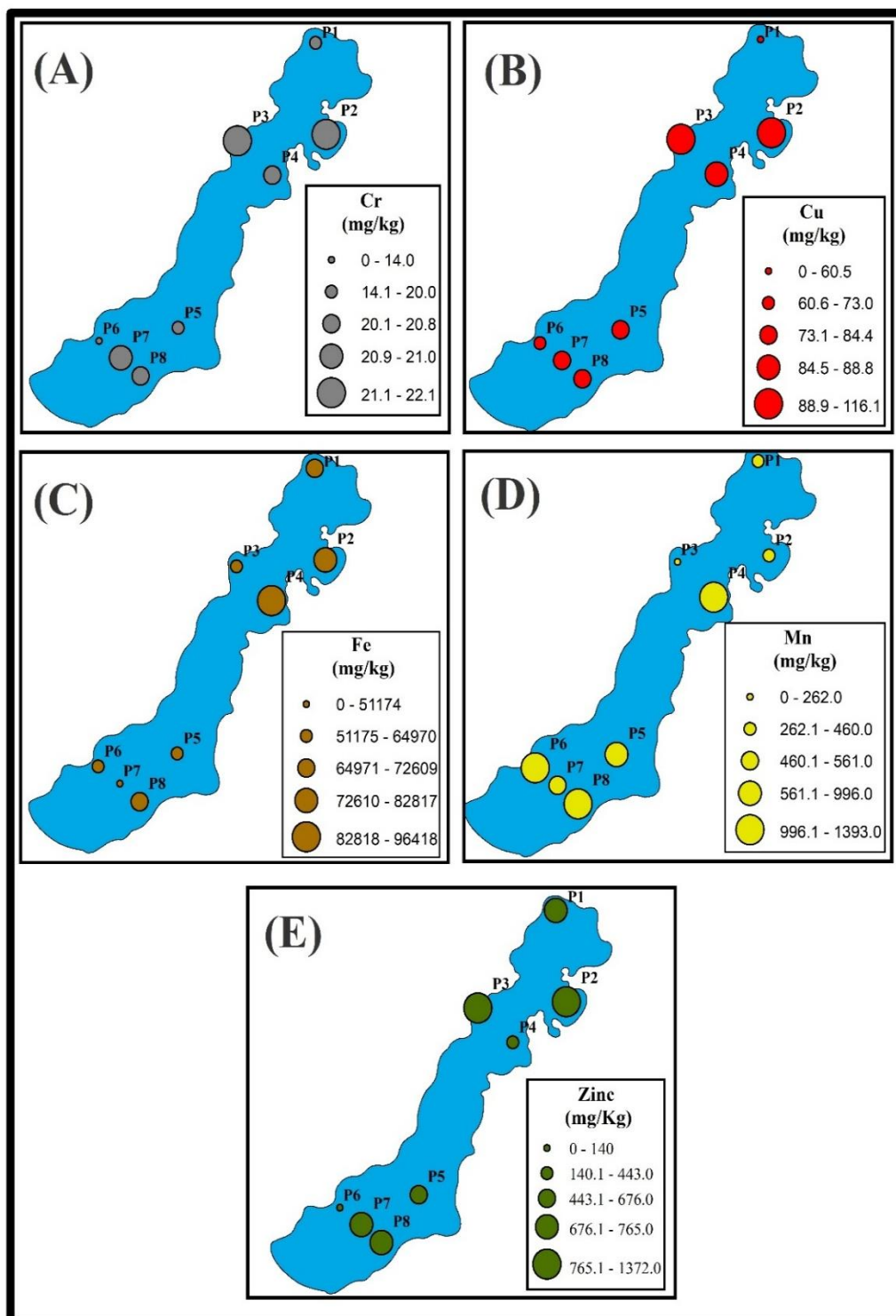
Puntos de muestreo	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
P1	20,1	60,5	72609	399,4	726,0
P2	22,1	116,1	82817	460,2	1372
P3	22,1	113,3	62785	262,2	1042
P4	20,9	88,8	96418	1305	443,0
P5	20,1	84,3	61110	996,2	676,4
P6	14,1	73,0	64970	1190	140,2
P7	21,0	84,4	51174	561,0	765,6
P8	20,9	80,6	66432	1393	744,8
LD	1,0	0,8	2,5	2,0	0,6
LQ	2,0	2,5	6,0	10,0	2,0
CC	50	200	50000	1000	500

Nota. LD: Limite de detección; LQ: Limite de Cuantificación; CC: Concentración crítica

En la Figura 9 se observa la distribución de los metales esenciales donde se observa que las mayores concentraciones de Cr se encuentran en la PSL cercana a la zona de plantas metalúrgicas (P2) y a las zonas con pendiente pronunciada (P3), así como también a la PIL en los puntos P7 y P8 este último cercana a la minería aluvial. El Cu, las mayores concentraciones se encuentran en la PSL cercanas a los procesos metalúrgicos y pronunciada pendiente y en la PIL se evidencia en el P8 cercana a la minería aluvial. El Fe sus mayores concentraciones se dan en la PSL incluyéndose la actividad de minería subterránea a las antes mencionadas. El Mn tiene una predominancia en la PIL donde se encuentran los bofedales y por último el Zn, se da en la PSL y en la PIL.

Figura 9

Distribución espacial de la concentración de los metales pesados en sedimentos de la laguna Rinconada

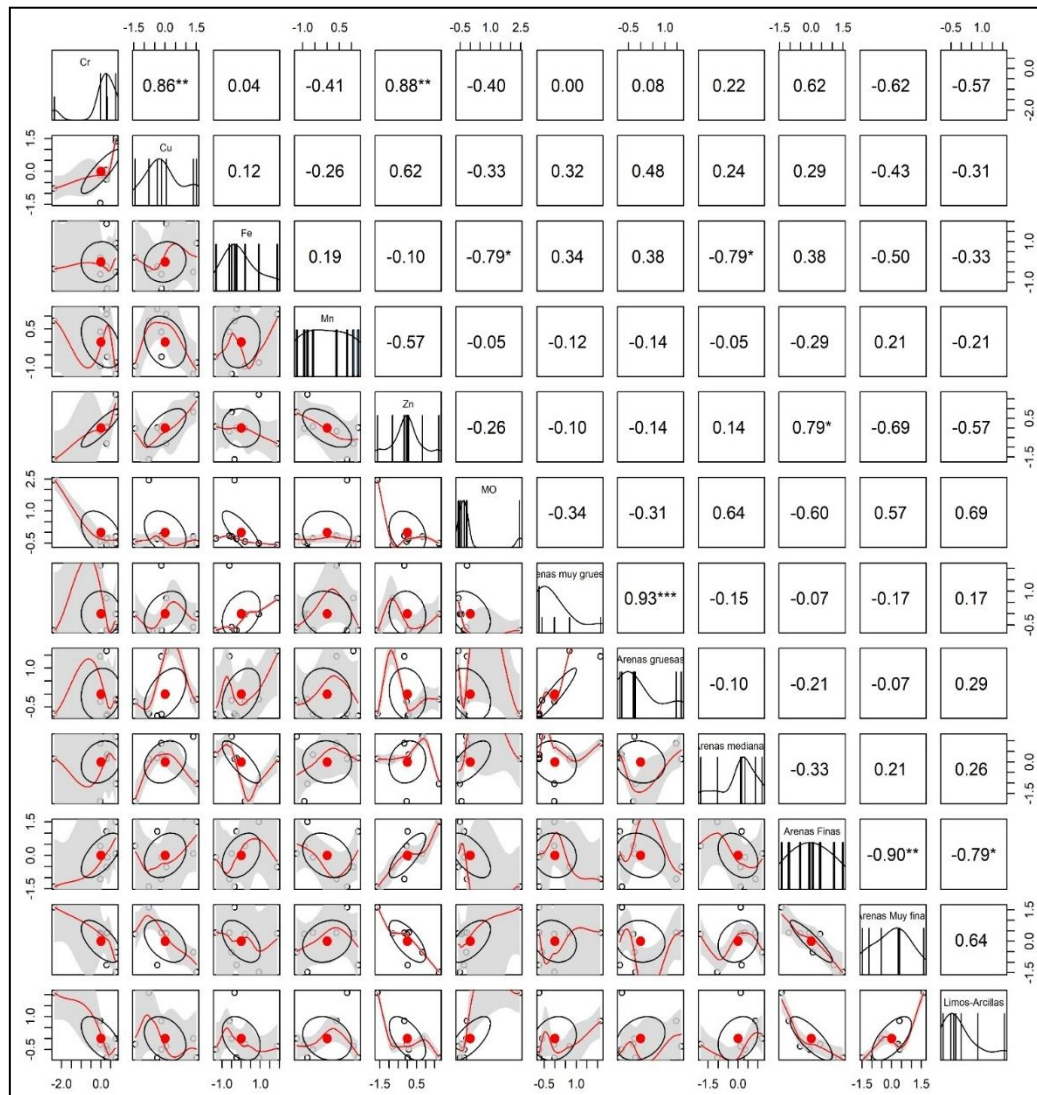


4.1.4 Influencia del porcentaje de la materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales de los sedimentos del lago Rinconada

En la Figura 10 se muestra la matriz de correlaciones de doble entrada, donde se observa los resultados más representativos como: Cr tiene una correlación fuerte con el Cu y el Zn ($\rho > 0,86$; $p < 0,01$). Además, el Fe presenta una fuerte relación inversa con la MO ($\rho > - 0,79$; $p < 0,05$). Zn presenta una fuerte correlación con las arenas Finas ($\rho > 0,79$; $p < 0,05$).

Figura 10

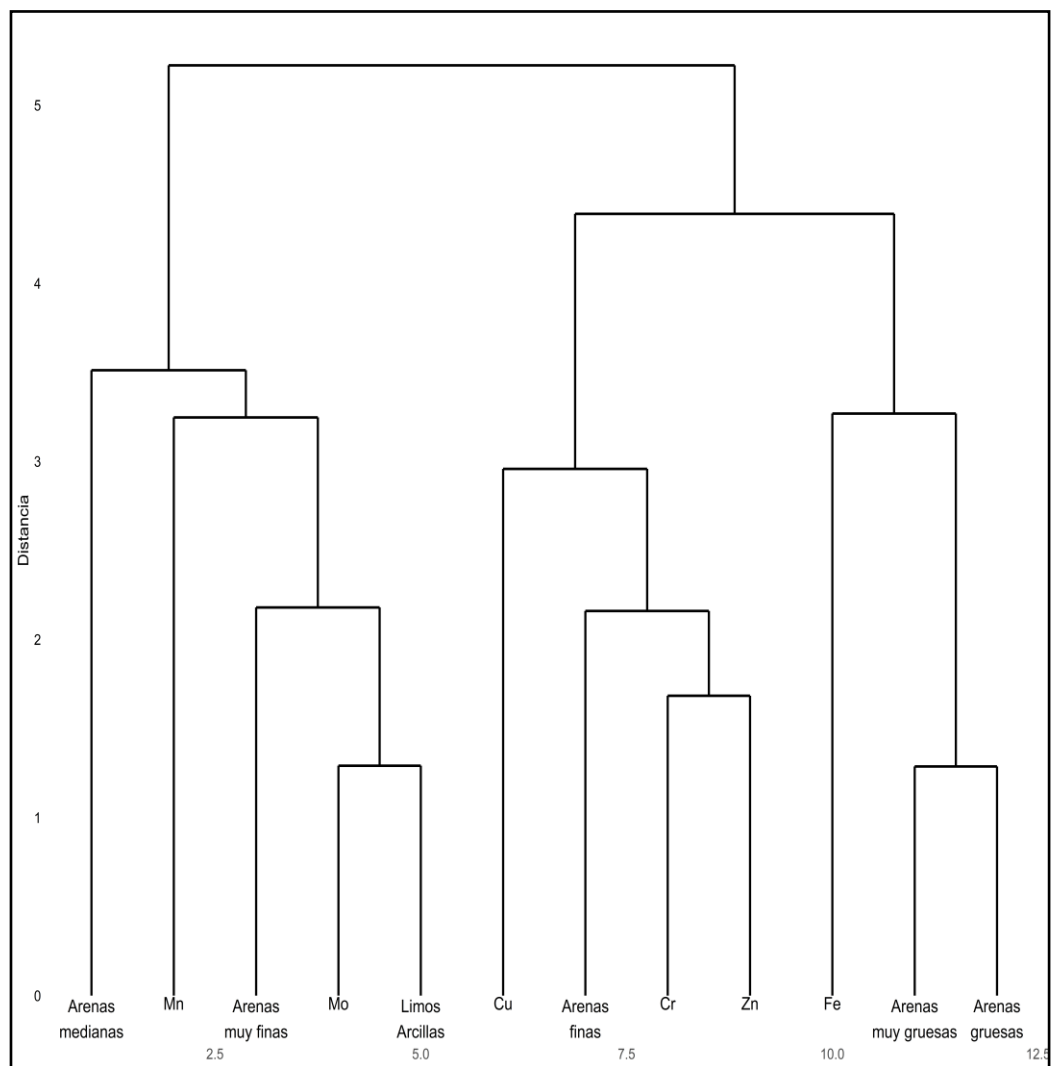
Matriz de correlación de Spearman de las variables físico-químicas



En la Figura 11 se observa un dendograma el cual proviene del análisis de correlación de Spearman debido a que los datos no presentaban normalidad y medición de distancias, del cual se pudo evidenciar tres claros grupos. El primer grupo está la MO, limos-Arcillas, Mn y Arenas medias presentando un valor correlativo entre estas variables. El segundo grupo está conformado por Cr, Zn, Arenas Finas y Cu y como último grupo se tiene a las arenas gruesas, muy gruesas y al Fe.

Figura 11

Dendograma de variables de estudio



4.2 Discusión

4.2.1 Porcentaje y distribución de la materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada

Los resultados muestran una variabilidad en la concentración de materia orgánica (MO) en los puntos de muestreo del lago Rinconada. En particular, el punto P6, ubicado en una zona donde se encuentra plantas denominada Totorilla de la laguna (PIL), presenta el mayor porcentaje de MO (37,75 %). Este valor elevado puede explicarse por la descomposición de la planta totorilla, lo que contribuye al aumento de MO en los sedimentos de esa área. La descomposición de plantas acuáticas, como la totorilla, es un proceso bien conocido que incrementa la cantidad de materia orgánica en los sedimentos de lagos, ya que estas plantas son fuentes ricas de carbono (Shmakova, 2024). Por otro lado, el P7 y P8 presentan % altos en comparación a los puntos de la PSL, esto podría explicarse por las características ambientales específicas de las zonas profundas (Salas-Mercado et al. 2023), donde las condiciones de menor oxigenación favorecen la deposición y conservación de la materia orgánica. Según (Madadi et al., 2021), las condiciones reducidas de oxígeno en estas áreas impiden la rápida descomposición de la materia orgánica, lo que resulta en una mayor acumulación.

En contraste, los puntos cercanos a la orilla y ubicados en la parte superior de la laguna (PSL), como P1, P2 y P4, muestran menores concentraciones de MO. Este patrón sugiere que la mayor agitación del agua y la mayor oxigenación en estas zonas favorecen la degradación de la MO y la resuspensión de los sedimentos, lo que limita la acumulación de material orgánico (Döring et al., 2024). De acuerdo con Galloway et al., (2024), la materia orgánica en los sedimentos lacustres puede actuar como un regulador de los metales pesados debido a su capacidad de adsorción. En áreas de mayor concentración de MO, como en P6, se puede esperar una mayor retención de metales, lo que influye directamente en la movilidad y biodisponibilidad de estos elementos en el ecosistema.

La distribución de la MO en el lago Rinconada refleja una clara tendencia a concentrarse en las zonas más profundas (PIL), probablemente debido a la menor dinámica física y la mayor sedimentación de materia orgánica proveniente

de fuentes externas, como deshielos y lluvias intensas. Este fenómeno ha sido descrito por Shmakova (2024), quien indica que los sedimentos en áreas profundas tienden a acumular más MO debido a su menor tasa de re suspensión. La variabilidad observada en puntos con alta desviación estándar, como P6, podría estar relacionada con la heterogeneidad en la acumulación y degradación de la MO, lo que sugiere la existencia de procesos de sedimentación y descomposición más complejos en esas áreas.

4.2.2 Fracción granulométrica predominante de los sedimentos y su distribución en el lago Rinconada

La fracción granulométrica predominante en los sedimentos del lago Rinconada muestra una clara diferencia entre las zonas superior (PSL) e inferior (PIL) del lago. En las zonas más profundas, como en P6 y P7 (PIL), se observa una mayor proporción de partículas finas (como el limo y la arcilla), lo que está relacionado con la menor re suspensión de sedimentos en estas áreas y la mayor tasa de sedimentación. Las zonas más profundas del lago suelen tener una mayor capacidad para retener partículas finas, que se acumulan con el tiempo debido a la baja dinámica física del agua (Madadi et al., 2021). Además, estos sedimentos finos tienen una mayor capacidad de adsorción de materia orgánica (Döring et al., 2024) y metales, lo que sugiere que las zonas profundas del lago actúan como reservorios para estos componentes. La mayor concentración de fracciones finas en la zona PIL podría estar vinculada a la menor energía del agua en estas áreas, lo que favorece la deposición de partículas pequeñas y la retención de material orgánico (Madadi et al., 2021).

Por otro lado, en la parte superior de la laguna (PSL), como en P1, P2 y P4, se observa una mayor proporción de arena, lo que refleja la mayor agitación del agua y la mayor influencia de corrientes superficiales que impiden la sedimentación de partículas finas. La predominancia de arena en estos puntos puede resultar en una menor capacidad de adsorción de metales y materia orgánica, lo que impacta la distribución espacial de estos componentes (Shmakova, 2024). La distribución granulométrica en el lago Rinconada es, por tanto, un factor clave en la dinámica de los sedimentos y en la disponibilidad de metales esenciales en las distintas zonas del lago.

4.2.3 Disponibilidad espacial de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada

Los resultados obtenidos en relación con la disponibilidad espacial de metales esenciales en los sedimentos del lago Rinconada muestran que, en general, los metales como el zinc (Zn), el cobre (Cu) y el manganeso (Mn) están más concentrados en los puntos de la parte inferior de la laguna (PIL), especialmente en P6, mientras que en la parte superior de la laguna (PSL) la concentración de estos metales es significativamente menor. Este patrón puede explicarse por la mayor capacidad de los sedimentos finos en las zonas más profundas para retener metales, debido a su mayor superficie específica de adsorción y a la interacción con la materia orgánica que se acumula en esas áreas (Madadi et al., 2021).

La mayor concentración de metales en P6, un punto con una alta concentración de MO, está en línea con estudios previos que sugieren que los sedimentos ricos en materia orgánica tienen una mayor capacidad de adsorción de metales pesados, como el mercurio, debido a su alta área superficial (Galloway et al., 2024). Esto implica que las zonas más profundas del lago actúan como reservorios para estos metales, lo que puede influir en su biodisponibilidad y movilización en el ecosistema acuático (Kim et al., 2022).

Por el contrario, los puntos en la parte superior del lago, como P1 y P2, presentan una menor concentración de metales, lo que puede estar relacionado con la menor retención de estos elementos en sedimentos más gruesos, como los dominados por arena. La menor capacidad de adsorción de los sedimentos arenosos podría llevar a una mayor movilidad de los metales en esas zonas, aumentando su disponibilidad para la biota acuática y afectando la calidad del agua (Shmakova, 2024).

4.2.4 Influencia del porcentaje de la materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales de los sedimentos del lago Rinconada

La relación entre la materia orgánica (MO) y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales esenciales en los sedimentos del lago Rinconada es compleja y refleja la interacción de factores

físicos, químicos y biológicos en el ecosistema. Los resultados sugieren que las zonas más profundas del lago (PIL), donde la concentración de MO es más alta, tienen una mayor capacidad de adsorción de metales esenciales como el zinc (Zn), el cobre (Cu) y el manganeso (Mn), lo que resulta en una mayor acumulación de estos metales en los sedimentos.

En el punto P6, donde se encuentra la mayor concentración de MO, los metales se encuentran principalmente vinculados a las granulometrias finas de los sedimentos (limo-arcilla), que tienen una alta capacidad de adsorción debido a su mayor superficie específica (H. K. Kim et al., 2015). La interacción entre la MO y los metales es vital para comprender la dinámica de estos elementos en el ecosistema acuático. Según Galloway et al., (2024) la MO actúa como un controlador de los metales en los sedimentos lacustres, ya que la capacidad de adsorción de la MO puede influir directamente en la disponibilidad y biodisponibilidad de los metales.

También, el tamaño de partícula tiene un rol crucial en la distribución espacial de los metales. En las zonas dominadas por sedimentos finos, como en P6, los metales están fuertemente retenidos, lo que limita su movilidad y biodisponibilidad. Sin embargo, en las zonas dominadas por sedimentos gruesos, como en P1 y P2, la menor capacidad de adsorción de estos sedimentos permite que los metales sean más móviles y disponibles para la biota acuática. Esto sugiere que la combinación de una alta concentración de MO y una fracción granulométrica fina en la parte inferior del lago (PIL) ayuda la retención de metales esenciales y reduce su liberación al medio acuático (Madadi et al., 2021).

En resumen, los datos indican que la interacción entre la MO y los tamaños de partículas en los sedimentos del lago Rinconada son determinantes en la disponibilidad y movilidad de los metales esenciales, y que las zonas más profundas del lago presentan una alta concentración de estos metales debido a las condiciones ambientales que influyen en la retención y adsorción de estos elementos.

CONCLUSIONES

- La distribución de la materia orgánica (MO) en los sedimentos del lago Rinconada muestra una clara variabilidad espacial. Los puntos más profundos de la laguna (PIL), como P6 y P7, presentan las concentraciones más altas de MO, con un 37,75 % en P6, lo que puede atribuirse principalmente a la descomposición de la planta acuática totorilla en esa zona. Esto está en línea con estudios previos que han señalado que las condiciones ambientales en áreas de baja oxigenación favorecen la acumulación de MO. En contraste, en las zonas más superficiales del lago (PSL), como los puntos P1, P2 y P4, las concentraciones de MO son significativamente menores, sugiriendo que la mayor agitación y oxigenación en estas áreas impiden la acumulación de materia orgánica.
- La distribución granulométrica prueba que los puntos ubicados en las zonas más profundas (P6 y P7) tienen una alta concentración de partículas finas. Estos sedimentos finos ayudan a la adsorción de MO y metales esenciales, contribuyendo a la concentración de estos elementos en las zonas más profundas del lago. La mayor proporción de partículas finas en el PIL incrementa la capacidad de retención de contaminantes y facilita la sedimentación estable de estos materiales, mientras que en la zona superior (PSL) la mayor re suspensión y turbulencia limitan esta acumulación.
- En la distribución de metales esenciales, se evidencio que la concentración de metales como el zinc (Zn) y el hierro (Fe) es más alta en los puntos donde se encuentra una mayor cantidad de MO, especialmente en P6. La mayor presencia de materia orgánica en estas áreas favorece la adsorción de metales, lo que disminuye su disponibilidad en el agua, pero a la vez puede incrementar su acumulación en los sedimentos. Este fenómeno resalta el papel crucial de la MO en la movilidad y biodisponibilidad de los metales esenciales.
- La interacción entre la MO, la granulometría y los metales esenciales es determinante para comprender la distribución y movilidad de los contaminantes en los sedimentos. Las zonas con mayor concentración de materia orgánica, como el punto P6, muestran una alta retención de metales en los sedimentos, lo que podría reducir la concentración en el agua, pero se incrementa los riesgos ecológicos asociados a la acumulación en el fondo lacustre. En ese sentido, las condiciones de



baja oxigenación y alta retención de sedimentos finos en las zonas profundas del lago Rinconada podrían significar un riesgo ecológico potencial, afectando tanto la calidad del agua como la salud de los organismos acuáticos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar futuras investigaciones que analicen el impacto de la MO en la dinámica de metales en los sedimentos del lago Rinconada. Investigar cómo la degradación de plantas como la totorilla en zonas profundas afectan la biodisponibilidad de estos elementos, para entender mejor los procesos ecológicos. Además, sería útil realizar estudios comparativos con otros lagos cercanos para determinar si hay patrones similares en otras zonas de la región de Puno. La colaboración con la Dirección Regional de Energía y Minas de Puno y universidades locales podría enriquecer este análisis.
- Las investigaciones posteriores deben centrarse en cómo las fracciones granulométricas interactúan con la materia orgánica y los metales esenciales. Sería útil explorar si la mayor concentración de partículas finas en las áreas más profundas del lago contribuye a la retención de metales pesados, lo que podría tener efectos para la gestión ambiental. La Universidad Nacional del Altiplano de Puno podría ser una aliada en este tipo de investigaciones.
- Se sugiere realizar un monitoreo más exhaustivo de los metales esenciales en el sedimento, tanto en las zonas superficiales y profundas. También, se debería investigar cómo las concentraciones de metales varían con el tiempo, especialmente después de eventos naturales como lluvias intensas o deshielos. El establecimiento de técnicas de muestreo durante el año podría proporcionar una visión más completa. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) debería ser participe para la gestión y regulación de estas investigaciones.
- Como línea de investigación futura, se podría desarrollar modelos predictivos que evalúen los riesgos ecológicos asociados con la interacción de materia orgánica, granulometría y metales esenciales en los sedimentos. También, estudiar las actividades de la minería en la región de Puno y su relación con la contaminación de los cuerpos de agua que podría ser fundamental para prevenir riesgos a la salud pública y al ecosistema. Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET) y el Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) podrían ser claves para llevar a cabo este tipo de estudios e implementar regulaciones para mitigar el impacto de las actividades mineras.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadee, M., Nasab, S. B., Naseri, A. A., & Kardani, A. (2016). Assessment of heavy metals in Zohreh River, Iran. *Soil and Environment*, 35(2), 161–170 <https://www.researchgate.net/publication/311927451>
- Ali, A. R., & Talabani, M. J. A. (2018). Heavy Metals Distribution and Their Correlation with Clay Size Fraction in Stream Sediments of the Lesser Zab River at Northeastern Iraq. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 06(04), 89–106. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.64006>
- Amoakwah, E., Ahsan, S., Rahman, M. A., Asamoah, E., Essumang, D. K., Ali, M., & Islam, K. R. (2020). Assessment of Heavy Metal Pollution of Soil-water-vegetative Ecosystems Associated with Artisanal Gold Mining. *Soil and Sediment Contamination*, 29(7), 788–803. <https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1777936>
- Autoridad Nacional de Agua (ANA). (2015). *Impactos del Cambio Climático y procesos geodinámicos en glaciares tropicales*. Ministerio de Agricultura y Riego. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2093>
- Bao, R., Hernández, A., Sáez, A., Giralt, S., Prego, R., Pueyo, J. J., Moreno, A., & Valero-Garcés, B. L. (2015). Climatic and lacustrine morphometric controls of diatom paleoproductivity in a tropical Andean lake. *Quaternary Science Reviews*, 129, 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.09.019>
- Bernardello, M., Secco, T., Pellizzato, F., Chinellato, M., Sfriso, A., & Pavoni, B. (2006). The changing state of contamination in the Lagoon of Venice. Part 2: Heavy metals. *Chemosphere*, 64(8), 1334–1345. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.033>
- Brain J. Alloway. (2013). *Heavy Metals in Soils*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Casanovas, E. M., Echeverria, H. E., & Studdert, G. A. (1995). Materia organica del suelo bajo rotaciones de cultivos. I. Contenido total y de distintas fracciones. In *Ciencia del Suelo* (Vol. 13, Issue 1, pp. 16–20). <https://www.suelos.org.ar/sitio/volumen-13-numero-1-junio-1995/>

- Ccanccapa-Cartagena, A., Paredes, B., Vera, C., Chavez-Gonzales, F. D., Olson, E. J., Welp, L. R., Zyaykina, N. N., Filley, T. R., Warsinger, D. M., y Jafvert, C. T. (2021). Occurrence and probabilistic health risk assessment (PRA) of dissolved metals in surface water sources in Southern Peru [Ocurrencia y evaluación probabilística de riesgos para la salud (PRA) de metales disueltos en fuentes de agua superficial en el sur del Perú]. *Environmental Advances*, 5(September), 100102. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100102>
- Chen, R., Chen, H., Song, L., Yao, Z., Meng, F., y Teng, Y. (2019). Characterization and source apportionment of heavy metals in the sediments of Lake Tai (China) and its surrounding soils [Caracterización y prorrateo de fuentes de metales pesados en los sedimentos del lago Tai (China) y sus suelos circundantes]. *Science of the Total Environment*, 694, 133819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133819>
- Choque, M. (2017). Remoción De Iones De Cadmio (Iii), Plomo (Ii) Y Níquel De Lodos Sedimentados En La Bahía Interior De Puno-Lago Titicaca Utilizando Bioabsorbente Acuoso De La Semilla De Tarwi. [Tesis de Doctorado, *Universidad del Altiplano*]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6209>
- Conti, L. A., Araujo, C. A. S., Paolo, F. S., Barcellos, R. L., Rodrigues, M., Mahiques, M. M., & Furtado, V. V. (2012). An integrated GIS for sedimentological and geomorphological analysis of a lagoon environment. Barra de Cananéia inlet region, (Southeastern Brazil). *Journal of Coastal Conservation*, 16(1), 13–24. <https://doi.org/10.1007/s11852-011-0164-1>
- Cuentas Alvarado, M., & Velarde Ochoa, J. (2017). Uso de mercurio en la Rinconada - Puno. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 4(1), 27–34. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000100003&lng=es&tlng=es
- Custodio, M., & Peñaloza, R. (2021). Evaluation of the distribution of heavy metals and arsenic in inland wetlands (Peru) using multivariate statistical methods. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 22(3), 104–111. <https://doi.org/10.12912/27197050/135522>
- Del Rio-Salas, R., Ayala-Ramírez, Y., Loredo-Portales, R., Romero, F., Molina-Freaner, F., Minjarez-Osorio, C., Pi-Puig, T., Ochoa-Landín, L., & Moreno-Rodríguez, V.

- (2019). Mineralogy and Geochemistry of Rural Road Dust and Nearby Mine Tailings: A Case of Ignored Pollution Hazard from an Abandoned Mining Site in Semi-arid Zone. *Natural Resources Research*, 28(4), 1485–1503. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09472-x>
- Di Maggio, J., Estrada, V., y Diaz, M. S. (2015). Water Resources Management with Dynamic Optimization Strategies and Integrated Models of Lakes and Artificial Wetlands [Gestión de Recursos Hídricos con Estrategias dinámicas de optimización y modelos integrados de lagos y humedales artificiales]. *Computer Aided Chemical Engineering*, 37(June). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63576-1.50118-7>
- Döring, S., Kim, K., & Swain, A. (2024). Integrating socio-hydrology, and peace and conflict research. *Journal of Hydrology*, 633. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131000>
- Drozdova, J., Raclavska, H., Raclavsky, K., & Skrobankova, H. (2019). Heavy metals in domestic wastewater with respect to urban population in Ostrava, Czech Republic. *Water and Environment Journal*, 33(1), 77–85. <https://doi.org/10.1111/wej.12371>
- Ehrbar, D., Schmocker, L., Vetsch, D. F., & Boes, R. M. (2018). Hydropower potential in the periglacial environment of Switzerland under climate change. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su10082794>
- El-Said, G. F., Draz, S. E. O., El-Sadaawy, M. M., & Moneer, A. A. (2014). Sedimentology, geochemistry, pollution status and ecological risk assessment of some heavy metals in surficial sediments of an Egyptian lagoon connecting to the Mediterranean Sea. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 49(9), 1029–1044. <https://doi.org/10.1080/10934529.2014.894853>
- Evangelou, E., Tsadilas, C., Tziouvalekas, M., & Nikoli, T. (2019). Municipal Sewage Sludge application on cotton cultivations. Effect on yields soil chemical properties and heavy metal concentrations. *Global NEST Journal**Global NEST: The International Journal*, 21(4), 466–470. <https://doi.org/10.30955/gnj.002665>

- Ezemonye, L. I., Adebayo, P. O., Enuneku, A. A., Tongo, I., & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicology Reports*, 6(January 2018), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010>
- Fadel, D. El, Farida, B., Sidi, L. B., Ben, M., Derradji, F., Benmeziane, F., Benaabidate, L., Maoui, A., Bousnoubra, H., & Kherici, N. (2015). Heavy metals analysis in the water of Mellah, Oubeira and Tonga Lakes of El kala wetland complex, North east Algeria. In *International Journal of Innovation and Scientific Research* (Vol. 13, Issue 1). <http://www.ijisr.issr-journals.org/>
- Farhat, H. I., & Aly, W. (2018). Effect of site on sedimentological characteristics and metal pollution in two semi-enclosed embayments of great freshwater reservoir: Lake Nasser, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 141, 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.02.012>
- Fernández, M., Björck, S., Wohlfarth, B., Maidana, N. I., Unkel, I., y Van der Putten, N. (2013). Diatom assemblage changes in lacustrine sediments from Isla de los Estados, southernmost South America, in response to shifts in the southwesterly wind belt during the last deglaciation [Cambios en el ensamblaje de diatomeas en sedimentos lacustres de la Isla de los Estados, el más meridional de América del Sur, en respuesta a los cambios en el cinturón de viento del suroeste durante la última deglaciación]. *Journal of Paleolimnology*, 50(4), 433–446. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9736-4>
- Flores, C. M., Del Angel, E., Frías, D. M., & Gómez, A. L. (2018). Evaluation of physicochemical parameters and heavy metals in water and surface sediment in the ilusiones Lagoon, Tabasco, Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(2), 39–57. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>
- Fontúrbel, F. E. (2008). *Contaminación ambiental y cultural en el Lago Titikaka: estado actual y perspectivas*. <http://www.fundacionemegece.org>
- Fuentes-Gandara, F., Pinedo-Hernández, J., Gutiérrez, E., Marrugo-Negrete, J., y Díez, S. (2021). Heavy metal pollution and toxicity assessment in Mallorquin swamp: A natural protected heritage in the Caribbean Sea, Colombia [Evaluación de la

- contaminación y toxicidad por metales pesados en el pantano mallorquín: un patrimonio natural protegido en el Mar Caribe, Colombia]. *Marine Pollution Bulletin*, 167(March). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112271>
- Gaibor-Ontaneda, B. J., & Molina-Torres, M. V. (2024). “GESTION DE CUENCAS HIDRICAS URBANAS Y SU IMPACTO EN DERECHOS AMBIENTALES Y CULTURALES EN ECUADOR.” *MQRInvestigar*, 9(1), e309. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e309>
- Galloway, J. M., Parsons, M. B., Ardakani, O. H., Falck, H., Fewster, R. E., Swindles, G. T., Sanei, H., Palmer, M. J., Nasser, N. A., & Patterson, R. T. (2024). Organic matter is a predominant control on total mercury concentration of near-surface lake sediments across a boreal to low Arctic tundra transect in northern Canada. *Science of the Total Environment*, 954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176466>
- Giraldo-Malca, U. F. (2017). Minería informal en la cuenca alta del Ramis : impactos en el paisaje y evolución del conflicto socio ambiental [Tesis de maestría, Pontificia universidad católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/9613>
- Goyzueta, G., y Trigos, C. (2009). Riesgos de la salud pública en el centro poblado minero artesanal la rinconada (5200 msnm) en Puno, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica.*, 26(1), 41–44. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100008&lng=es&tlng=es
- Grande, J. A., Loayza-Muro, R., Alonso-Chaves, F. M., Fortes, J. C., Willems, B., Sarmiento, A. M., Santisteban, M., Dávila, J. M., de la Torre, M. L., Durães, N., Diaz-Curiel, J., y Luís, A. T. (2019). The Negro River (Ancash-Peru): A unique case of water pollution, three environmental scenarios and an unresolved issue [El río Negro (Ancash-Perú): Un caso único de contaminación del agua, tres escenarios ambientales y un tema sin resolver]. *Science of the Total Environment*, 648, 398– 407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.068>
- Guo, X., y Shao, Q. (2019). Spatial pattern of soil erosion drivers and the contribution rate of human activities on the Loess Plateau from 2000 to 2015: A boundary line

- from Northeast to Southwest [Patrón espacial de los impulsores de la erosión del suelo y la tasa de contribución de las actividades humanas en la meseta de Loess de 2000 a 2015: una línea fronteriza del noreste al suroeste]. *Remote Sensing*, 11(2429), 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs11202429>
- Habte, G., Hwang, I. M., Kim, J. S., Hong, J. H., Hong, Y. S., Choi, J. Y., Nho, E. Y., Jamila, N., Khan, N., y Kim, K. S. (2016). Elemental profiling and geographical differentiation of Ethiopian coffee samples through inductively coupled plasmaoptical emission spectroscopy (ICP-OES), ICP-mass spectrometry (ICP-MS) 57 and direct mercury analyzer (DMA) [Perfilado elemental y diferenciación geográfica de muestras de café etíopes a través de espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES), espectrometría de masas ICP (ICPMS) y analizador directo de mercurio (DMA)]. *Food Chemistry*, 212, 512–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.178>
- Hanco-capajaña, F. (2018). The increase in environmental pollution as a consequence of illegal mining in the department of Puno. *Revista UANCV - Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas*, 69–80. <https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/DEP/article/view/661>
- Heiri, O., Lotter, A. F., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25(1–4), 101–110. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)
- Hong, Y. S., Choi, J. Y., Nho, E. Y., Hwang, I. M., Khan, N., Jamila, N., y Kim, K. S. (2019). Determination of macro, micro and trace elements in citrus fruits by inductively coupled plasma–optical emission spectrometry (ICP-OES), ICP–mass spectrometry and direct mercury analyzer [Determinación de macro, micro y oligoelementos en cítricos mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES), espectrometría de masas ICP y analizador directo de mercurio]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1870–1879. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9382>

- Huang, W., Peng, P., Yu, Z., & Fu, J. (2003). Effects of organic matter heterogeneity on sorption and desorption of organic contaminants by soils and sediments. *Applied Geochemistry*, 18(7), 955–972. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00205-6](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00205-6)
- Huggel, C., Cochachin, A., Drenkhan, F., Fluixá-sanmartín, J., Frey, H., Hernández, J. G., Jurt, C., Muñoz, R., y Price, K. (2020). El lago glaciar 513 (Perú). Lecciones para el desarrollo de un servicio de alerta temprana. *Boletín de La OMM*, 69(1), 45–52. <https://wmo.int/es/media/magazine-article/el-lago-glaciar-513-peru-lecciones-para-el-desarrollo-de-un-servicio-de-alerta-temprana>
- Iturrizaga, L. (2018). Glacial landform assemblages and pedestal moraines in the Cordillera Blanca (Peru). *Geomorphology*, 318, 283–302. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.06.012>
- J. Acosta, I. Rodrigues, A. F. (2011). Memoria sobre la geología económica de la región puno. Direccion De Recursos Minerales Y Energéticos Programa De Metalogenia Proyecto Ge 33. https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/468768/2011_GE33_Memoria_Geologia_Economica_Cusco.pdf/d22a2f42-0b5b-42e5-8fe5-9fb6e737d8f2
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. In *Interdisciplinary Toxicology* (Vol. 7, Issue 2, pp. 60–72). Slovak Toxicology Society. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Ji, Z., Zhang, H., Zhang, Y., Chen, T., Long, Z., Li, M., & Pei, Y. (2019). Distribution, ecological risk and source identification of heavy metals in sediments from the Baiyangdian Lake, Northern China. *Chemosphere*, 237, 124425. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124425>
- Kim, C. S., Kim, S. H., Lee, W. C., & Lee, D. H. (2022). Spatial variability of water quality and sedimentary organic matter during winter season in coastal aquaculture zone of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113991>

- Kim, H. K., Jang, T. I., Kim, S. M., & Park, S. W. (2015). Impact of domestic wastewater irrigation on heavy metal contamination in soil and vegetables. *Environmental Earth Sciences*, 73(5), 2377–2383. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3581-2>
- Kostka, A., & Leśniak, A. (2020). Spatial and geochemical aspects of heavy metal distribution in lacustrine sediments, using the example of Lake Wigry (Poland). *Chemosphere*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124879>
- Kouame, L. B. C., Bolou Bi, E. B., Aka, N., Alphonse, V., Goula, B. T. A., & Balland-Bolou-Bi, C. (2020). Seasonality of Hg dynamics in the Ebrié Lagoon (Côte d'Ivoire) ecosystem: influence of biogeochemical factors. *Environmental Science and Pollution Research, Fiston 2017*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08471-3>
- Kutuzov, S., Shahgedanova, M., Krupskaya, V., y Goryachkin, S. (2021). Optical, geochemical and mineralogical characteristics of light- absorbing impurities 59 deposited on djankuat glacier in the caucasus mountains [Características ópticas, geoquímicas y mineralógicas de las impurezas que absorben la luz depositadas en el glaciar djankuat en las montañas del Cáucaso]. *Water*, 13(21), 1-14. <https://doi.org/10.3390/w13212993>
- Li, M., Zhang, Q., Sun, X., Karki, K., Zeng, C., Pandey, A., Rawat, B., & Zhang, F. (2020a). Heavy metals in surface sediments in the trans-Himalayan Koshi River catchment: Distribution, source identification and pollution assessment. *Chemosphere*, 244, 125410. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125410>
- Li, M., Zhang, Q., Sun, X., Karki, K., Zeng, C., Pandey, A., Rawat, B., & Zhang, F. (2020b). Heavy metals in surface sediments in the trans-Himalayan Koshi River catchment: Distribution, source identification and pollution assessment. *Chemosphere*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125410>
- Liu, G., Dabney, S. M., Yoder, D. C., Wells, R. R., & Vieira, D. A. N. (2019). Modeling land management effects on the size distribution of eroded sediment. *Soil and Tillage Research*, 192(August 2018), 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.012>

- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Loza Del Carpio, A. L., y Ccancapa Salcedo, Y. (2019). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (la rinconada, puno, Perú). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 33–44. <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53317>
- Luo, W., Zhang, G., Chen, W., y Xu, F. (2020). Response of glacial lakes to glacier and climate changes in the western Nyainqentanglha range [Respuesta de los lagos glaciares a los cambios glaciares y climáticos en la cordillera occidental de Nyainqentanglha]. *Science of the Total Environment*, 735, 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139607>
- Maanan, M., Zourarah, B., Carruesco, C., Aajjane, A., & Naud, J. (2004). The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). *Journal of African Earth Sciences*, 39(3–5), 473–483. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.07.017>
- Madadi, R., Karbassi, A., & Saeedi, M. (2021). Release of heavy metals under pre-set redox potentials in Musa estuary sediments , northwestern of Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 168, 112390.
- Mark, B. G., French, A., Baraer, M., Carey, M., Bury, J., Young, K. R., Polk, M. H., Wigmore, O., Lagos, P., Crumley, R., McKenzie, J. M., & Lautz, L. (2017). Glacier loss and hydro-social risks in the Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*, 159(October 2017), 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.10.003>
- Meeinkuirt, W., Kruatrachue, M., Pichtel, J., Phusantisampan, T., & Saengwilai, P. (2016). Influence of organic amendments on phytostabilization of Cd-contaminated soil by *Eucalyptus camaldulensis*. *ScienceAsia*, 42(2), 83–91. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2016.42.083>

- METHOD 3050B Acid Digestion Of Sediments, Sludges And Soils, 18 EPA Methodology 723 (1996). https://doi.org/10.18907/jjsre.18.7_723_2
- Mulholland, D. S., Boaventura, G. R., y Araújo, D. F. (2012). Geological and anthropogenic influences on sediment metal composition in the upper Paracatu River Basin, Brazil [Influencias geológicas y antropogénicas en la composición de metales sedimentarios en la cuenca alta del río Paracatu, Brasil]. *Environmental Earth Sciences*, 67(5), 1307–1317. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1574-6>
- Muñoz, R., Huggel, C., Frey, H., Cochachin, A., & Haeberli, W. (2020). Glacial lake depth and volume estimation based on a large bathymetric dataset from the Cordillera Blanca, Peru. In *Earth Surface Processes and Landforms* (Vol. 45, Issue 7). <https://doi.org/10.1002/esp.4826>
- Naidu, R., Biswas, B., Willett, I. R., Cribb, J., Singh, B. K., Nathanail, C. P., Coulon, F., Semple, K. T., Jones, K. C., Barclay, A., & Aitken, R. J. (2021). Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity. *Environment International*, 156, 106616. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2021.106616>
- Narayan, A., Mora, A., Sánchez, L., & Rosales, J. (2020). Temporal and spatial variability of heavy metals in bottom sediments and the aquatic macrophyte *Paspalum repens* of the Orinoco River floodplain lagoons impacted by industrial activities. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 37074–37086. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09623-1>
- Navarrete-Rodríguez, G., Castañeda-Chávez, M. del R., & Lango-Reynoso, F. (2020). *Geoaccumulation of Heavy Metals in Sediment of the Fluvial – Lagoon – Deltaic System of the Palizada River* ,.
- Nguyen, T. T. H., Zhang, W., Li, Z., Li, J., Ge, C., Liu, J., Bai, X., Feng, H., & Yu, L. (2016). Assessment of heavy metal pollution in Red River surface sediments, Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1–2), 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.030>

- Njuguna, S. M., Onyango, J. A., Githaiga, K. B., Gituru, R. W., & Yan, X. (2020). Application of multivariate statistical analysis and water quality index in health risk assessment by domestic use of river water. Case study of Tana River in Kenya. *Process Safety and Environmental Protection*, 133, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.006>
- OMS. (2007). *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*. World Health Organization Regional Office Europe. <https://iris.who.int/handle/10665/107872>
- Paul, D. (2017). Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review [Investigación sobre la contaminación por metales pesados del río Ganges: una revisión]. *Annals of Agrarian Science*, 15(2), 278–286. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.001>
- Petrov, M. A., Sabitov, T. Y., Tomashevskaya, I. G., Glazirin, G. E., Chernomorets, S. S., Savernyuk, E. A., Tutubalina, O. V., Petrakov, D. A., Sokolov, L. S., Dokukin, M. D., Mountrakis, G., Ruiz-Villanueva, V., & Stoffel, M. (2017). Glacial lake inventory and lake outburst potential in Uzbekistan. *Science of the Total Environment*, 592, 228–242. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.068>
- Qiao, S., Shi, X., Wang, G., Zhou, L., Hu, B., Hu, L., Yang, G., Liu, Y., Yao, Z., & Liu, S. (2017). Sediment accumulation and budget in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. *Marine Geology*, 390, 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.06.004>
- Ramírez, M. L., & Pértile, V. C. (2017). Crecimiento poblacional, expansión urbana y cambio de usos de suelo en ciudades intermedias de la provincia del Chaco, Argentina. El caso de Juan José Castelli. *Revista de Geografía*, N° 21(3500), 111–131.
- Roșca, O. M., Dippong, T., Marian, M., Mihali, C., Mihalescu, L., Hoaghia, M. A., y Jelea, M. (2020). Impact of anthropogenic activities on water quality parameters of glacial lakes from Rodnei mountains, Romania [Impacto de las actividades antropogénicas en los parámetros de calidad del agua de los lagos glaciares de las montañas Rodnei, Rumania]. *Environmental Research*, 182(September), 1-11 . <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109136>

- Rydberg, J., Rosén, P., Lambertsson, L., De Vleeschouwer, F., Tomasdóttir, S., & Bindler, R. (2012). Assessment of the spatial distributions of total-and methyl-mercury and their relationship to sediment geochemistry from a whole-lake perspective. *Journal of Geophysical Research G: Biogeosciences*, 117(4), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2012JG001992>
- Sahoo, P. K., Souza-Filho, P. W. M., Guimarães, J. T. F., da Silva, M. S., Costa, F. R., Manes, C. L. de O., Oti, D., Júnior, R. O. S., & Dall'Agnol, R. (2015). Use of multi-proxy approaches to determine the origin and depositional processes in modern lacustrine sediments: Carajás Plateau, Southeastern Amazon, Brazil. *Applied Geochemistry*, 52, 130–146. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.11.010>
- Salas Mercado, D. (2022). *Modelo geo estadístico del impacto sedimentario por metales pesados en lagos glaciares de los andes del Perú: Rinconada y Sibinacocha* [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Salas-Ávila, D., Chaiña-Chura, F. F., Belizario-Quispe, G., Quispe-Mamani, E., Hurtado-Chávez, E. V., Rojas-Chahuares, F., Quispe-Borda, W., Hermoza-Gutierrez, M., & Salas-Mercado, D. (2024). Evaluation of Heavy Metal Contamination in Sediments of the Umayo Lagoon, Peru, and the Behaviour of Local Actors. *Pollution*, 10(2), 736–753. <https://doi.org/10.22059/poll.2024.369511.2178>
- Salas-Mercado, D., Belizario-Quispe, G., & Horna-Muñoz, D. (2023). Heavy Metal Pollution Assessment in Lake Rinconada in the Southern Andes, Peru. *Pollution*, 9(2), 477–493. <https://doi.org/http://doi.org/10.22059/POLL.2022.346689.1558>
- Salas-Mercado, D., Hermoza-Gutierrez, M., Belizario-Quispe, G., Chaiña, F., Quispe, E., & Salas-Ávila, D. (2022). Geochemical Indices for the Assessment of Chemical Contamination Elements in Sediments of the Suches River , Peru. *Pollution*, 8(2), 595–610. <https://doi.org/810.22059/POLL.2021.331806.1205>
- Salas-Mercado, D., Hermoza-Gutiérrez, M., Chaiña-Chura, F., Huaquisto-Cáceres, S., Hurtado-Chávez, E., Rojas-Chahuares, F., Quispe-Mamani, E., Salas-Ávila, D., & Belizario-Quispe, G. (2023). EVALUATION OF THE SEDIMENT QUALITY OF THE SUCHES RIVER USING MULTIVARIATE ANALYSIS METHODS. *Revista Boliviana de Química*, 40(2). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.2.2>

- Santisteban, J. I., Mediavilla, R., López-Pamo, E., Dabrio, C. J., Ruiz Zapata, M. B., Gil García, M. J., Castaño, S., & Martínez-Alfaro, P. (2004). Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Business Ethics*, 51(1), 31–39. <https://doi.org/10.1023/B>
- Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Rojo, P. A., y Sánchez, A. G. (2017). Geochemical background and baseline values determination and spatial distribution of heavy metal pollution in soils of the andes mountain range (CajamarcaHuancavelica, Peru) [Antecedentes geoquímicos y determinación de valores de referencia y distribución espacial de la contaminación por metales pesados en suelos de la cordillera de los Andes (Cajamarca-Huancavelica, Perú)]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8), 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080859>
- Schneider, I., & Topalova, Y. (2016). Risk Modelling of Organic Pollution in Lake Sediments. *Journal of Environmental Protection*, 07(05), 591–601. <https://doi.org/10.4236/jep.2016.75053>
- Schoolmeester, T., Johansen, K. S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., & Verbist, K. (2018). *Atlas De Glaciares Y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*.
- Setiawan, B., Antonie, S., & Adhiperdana, B. G. (2019). Grain-size characteristics of aceh's coastal deposits. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 523(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/523/1/012082>
- Shmakova, M. (2024). Catchment and channel components of sediment runoff in river flows (granulometric approach). *International Journal of Sediment Research*, 39(2), 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2023.11.001>
- Smith, D. D., & Wischmeier, W. H. (1978). Rainfall Erosion. *Advances in Agronomy*, 14(C), 109–148. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60437-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60437-X)
- Tang, J., An, T., Xiong, J., & Li, G. (2017). The evolution of pollution profile and health risk assessment for three groups SVOCs pollutants along with Beijiang River,

- China. *Environmental Geochemistry and Health*, 39(6), 1487–1499.
<https://doi.org/10.1007/s10653-017-9936-3>
- Tapia, J., & Audry, S. (2013). Control of early diagenesis processes on trace metal (Cu, Zn, Cd, Pb and U) and metalloid (As, Sb) behaviors in mining- and smelting-impacted lacustrine environments of the Bolivian Altiplano. *Applied Geochemistry*, 31, 60–78. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.12.006>
- Udden, J. A. (1914). Mechanical Composition Of clastic Sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25(1), 655–744.
- Valladares-Faundez, P., Cáceres, G., & Valdés, J. (2020). Contenido de plomo, cadmio y arsénico en tejidos biológicos de la paloma común (*Columba livia*) presentes en un área urbana previamente contaminada con residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 485–490.
<https://doi.org/10.20937/rica.53323>
- Varol, M., y Şen, B. (2009). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of Behrimaz Stream, Turkey [Evaluación de la calidad de las aguas superficiales utilizando técnicas estadísticas multivariantes: un estudio de caso de Behrimaz Stream, Turquía]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159(1–4), 543–553. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0650-6>
- Vermaire, J. C., Pomeroy, C., Herczegh, S. M., Haggart, O., & Murphy, M. (2017). Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *Facets*, 2(1), 301–314.
<https://doi.org/10.1139/facets-2016-0070>
- Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., Soruco, A., Villacis, M., Yarleque, C., Elison Timm, O., Condom, T., Salzmann, N., y Sicart, J. E. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead [Rápida disminución de la nieve y el hielo en los Andes tropicales – Impactos, incertidumbres y desafíos por delante]. *Earth-Science Reviews*, 176, 195–213. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.019>



- Wangchuk, S., & Bolch, T. (2020). Mapping of glacial lakes using Sentinel-1 and Sentinel-2 data and a random forest classifier: Strengths and challenges. *Science of Remote Sensing*, 2(July), 100008. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2020.100008>
- Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Wieland, P. (2020). Hernando de Soto , the Lone Prospector and the Formalization of Artisanal and Small-Scale Mining : A Case Study from La Rinconada , Peru. *Environs: Environmental Law and Policy Journal*, 43(1).
- Young, S. M., Ishiga, H., & Pitawala, A. (2012). Geochemical Assessment of Upper Mahaweli River and Polgolla Reservoir Sediments, Sri Lanka. *APCBEE Procedia*, 1(January), 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.010>
- Zafra Mejía, C. A. T. G. J. & T. M. Iñaki. (2011). *Concentración y distribución de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cd y Cr) en sedimentos viarios urbanos. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia.* 53–62. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302011000200006&lng=en&tlng=es
- Zhang, L., Ye, X., Feng, H., Jing, Y., Ouyang, T., Yu, X., Liang, R., Gao, C., & Chen, W. (2007). Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin*, 54(7), 974–982. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.010>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Preguntas	Hipótesis	Objetivos	VARIABLES	Indicadores	Métodos	Prueba estadística
<p>PG: Cuál es la influencia de la materia orgánica y la granulometría en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno</p>	<p>HG: Existe una correlación significativa entre la cantidad de materia orgánica, la distribución granulométrica, la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno.</p>	<p>OG: Determinar la influencia de la materia orgánica y la distribución granulométrica en la distribución y disponibilidad de metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno</p>				
<p>PE: a. ¿Cuál es el porcentaje y la distribución de la materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada, Puno?</p>	<p>HE: a. A mayor porcentaje de materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada, Puno, se observará una mayor concentración de metales pesados esenciales.</p>	<p>OE: a. Determinar el porcentaje y la distribución de la materia orgánica en los sedimentos del lago Rinconada, Puno</p>	Materia Orgánica	Concentración de la materia orgánica (%)	- LOI 550	Descriptiva
<p>b. ¿Cuál es la fracción granulométrica predominante de los sedimentos y cuál es su distribución en el lago Rinconada, Puno?</p>	<p>b. La fracción granulométrica predominante de los sedimentos del lago Rinconada, Puno, influirá en la distribución espacial de los metales pesados esenciales, siendo las partículas más finas asociadas con una mayor concentración de metales.</p>	<p>b. Determinar la fracción granulométrica predominante de los sedimentos y cuál es su distribución en el lago Rinconada, Puno</p>	VE2: Granulometría	Concentración de las fracciones (%) (Folk & Ward, 1957)	- Análisis tamizado. - Análisis por hidrómetro. - Ensayo de Gravedad específica	Descriptiva
<p>c. ¿Cuál es la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada?</p>	<p>c. La disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada, Puno, variará según la ubicación de las fuentes de contaminación.</p>	<p>c. Determinar la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales en los sedimentos del lago Rinconada</p>	VE3: Metales Pesados	Concentración de metales pesados(mg/kg) (MINAM, 2017b, 2017a)	- Análisis Tamizado. - Análisis de filtración - Análisis por ICP-MS.	Descriptiva
<p>d. ¿Cómo influye el porcentaje de la materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales de los sedimentos del lago Rinconada?</p>	<p>d. El porcentaje de materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en los sedimentos del lago Rinconada, Puno, influirán en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales, con una mayor materia orgánica y una fracción más fina asociadas con una mayor disponibilidad de metales.</p>	<p>d. Determinar la influencia del porcentaje de la materia orgánica y la fracción granulométrica predominante en la disponibilidad espacial de los metales pesados esenciales de los sedimentos del lago Rinconada</p>	VD1: Materia Orgánica VD2: Granulometría VD3: Metales Pesados	Concentración de la materia orgánica (%) Concentración de las fracciones (%) (Folk & Ward, 1957) Concentración de metales pesados(mg/kg) (MINAM, 2017b, 2017a)	- Análisis jerárquico	Análisis correlacional Análisis de Clustering

Anexo 2. Datos de las diferentes variables según punto de muestreo

Codificació n de Campo	Puntos	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	Gravas	Arenas muy gruesas	Arenas gruesas	Arenas medianas	Arenas Finas	Arenas Muy finas	Limos- Arcillas
RL1	P1	20.1	60.5	72609	399.4	726.0	11.0293	0	0.50	1.06	13.50	35.66	46.99	2.29
RL6	P2	22.1	116.1	82817	460.2	1372	10.2521667	0	0.51	1.23	16.34	48.45	32.78	0.69
RL7	P3	22.1	113.3	62785	262.2	1042	13.2262667	0	0.10	1.15	23.97	31.56	40.26	2.96
RL9	P4	20.9	88.8	96418	1305	443.0	9.57593333	0	1.00	4.84	20.31	24.50	47.33	2.02
RL15	P5	20.1	84.3	61110	996.2	676.4	13.5532333	0	2.02	4.44	22.84	18.11	47.51	5.07
RL17	P6	14.1	73.0	64970	1190	140.2	37.7468333	0	0.00	0.15	20.33	14.02	57.06	8.44
RL18	P7	21.0	84.4	51174	561.0	765.6	12.3344667	0	0.00	0.12	21.05	29.62	47.56	1.66
RL19	P8	20.9	80.6	66432	1393	744.8	12.2334333	0	0.00	0.00	20.48	43.42	35.42	0.69

Anexo 3. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad
Nacional del
Altiplano



Vicerrectorado de
Investigación



Repositorio
Institucional



Escuela de
Posgrado

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **GROVER LINDER FLORES PONCE** identificado(a) con N° DNI: **01342666** en mi condición de egresado(a) del:

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

con código de matrícula N° 192643, informo que he elaborado la tesis denominada:

INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA GRANULOMETRÍA EN LA DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS ESENCIALES EN LOS SEDIMENTOS DEL LAGO RINCONADA, 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, 06 de Junio del 2025.

FIRMA (Obligatorio)



Huella

Anexo 4. Autorización de depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad
Nacional del
Altiplano



Vicerrectorado de
Investigación



Repositorio
Institucional



Escuela de
Posgrado

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

Por el presente documento, Yo **GROVER LINDER FLORES PONCE** identificado(a) con N° DNI: **01342666**, en mi condición de egresado(a) del Programa de Maestría o Doctorado: **DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE** informo que he elaborado la tesis denominada:

INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA GRANULOMETRÍA EN LA DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS ESENCIALES EN LOS SEDIMENTOS DEL LAGO RINCONADA, PUNO.

para la obtención de Grado.

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno, 06 de Junio del 2025.

FIRMA (Obligatorio)



Huella