TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL

EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023

TESIS PRESENTADA POR:

ELIANA MULLISACA CONTRERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE

DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL

JULIACA - PERÚ

2024

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023

TESIS PRESENTADA POR:

ELIANA MULLISACA CONTRERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBADA POR:

PRESIDENTE : _____
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO : _____
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

SEGUNDO MIEMBRO : _____
Dr. RONALD MADERA TERÁN

ASESOR DE TESIS : _____
Dr. ARNALDO YANA TORRES

LINEA DE INVESTIGACION : CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P68

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°760-2025-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 12 de diciembre del 2025

VISTOS:
El expediente N°6286 presentado por el (a) M.Sc: **MULLISACA CONTRERAS ELIANA**, con número de DNI. 29662856 y con número de matrícula 131680032; solicita reprogramación de fecha y hora de Sustentación del **DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) M.Sc: **MULLISACA CONTRERAS ELIANA**, con número de DNI. 29662856 y con número de matrícula 131680032; **, del DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL** de la Escuela de Posgrado, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación, de la Tesis Titulada: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA – 2023** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P68 y;**

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 09 de diciembre del 2023 Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. – DECLARAR EXPEDITO, para la reprogramación de fecha y hora de Sustentación de la Tesis Titulada: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA – 2023** Elaborado por el (la) M.Sc: **MULLISACA CONTRERAS ELIANA**, reconocer como Jurados y Asesor a los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Primer Jurado	:	Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Segundo Jurado	:	Dr. RONALD MADERA TERÁN
Asesor de Tesis	:	Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	lunes 15 de diciembre del 2025
Hora	:	04:30 p.m.
Lugar	:	Aula N° 206 C.C. N°02 EPG - UANCV – JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Doctorado con el grado de **DOCTOR** aprobado en la ley Universitaria N° **30220**.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nº 1288-2025-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 23 de setiembre del 2025

VISTOS:

El expediente Nº. 3616, Presentado por el (a) Mgtr: **MULLISACA CONTRERAS ELIANA**, con número de DNI **29662856** y con Código de matrícula N.º **131680032**, quien solicita cambio de segundo miembro del jurado y asesor en el Proyecto de Tesis titulado: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023** Líneas de Investigación: **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P68**, Para optar el Grado Académico de **DOCTOR** en **INGENIERÍA AMBIENTAL** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, mediante expediente No. 3616, el **Mgtr: MULLISACA CONTRERAS ELIANA**, solicita el cambio del segundo miembro del jurado y asesor de la tesis titulada: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023** Aprobado con Resolución Directoral N.º 1190-2024-USA-EPG/UANCV, de fecha 16 de Agosto del 2024, en el que se le asignó como Segundo miembro al Dr. Ricardo Anibal Maldonado Mamani y asesor al Dr. Ramiro Amilcar Bolaños Calderon, los mismos que se cambia por no tener vinculo laboral con la UANCV

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 06 de diciembre del del 2023, registrado en el Folio Nº 4030 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Doctorado, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca;

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO Y ASESOR EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, para su revisión de la Tesis titulada: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023** presentado por el (a) **Mgtr: MULLISACA CONTRERAS ELIANA**, del doctorado en: **INGENIERÍA AMBIENTAL**, conformado por los siguientes docentes:

Presidente	**: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
Primer Miembro	**: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
Segundo Miembro	**: Dr. RONALD MADERA TERÁN**
Asesor (a)	**: Dr. ARNALDO YANA TORRES**

SEGUNDO.- AUTORIZAR el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de **DOCTOR** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

TERCERO.- ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese

ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Jesus Rosendo Quispe Zapana
DIRECTOR (e)

Cc/CARGO (01)
ARCHIVO EPG-2025 (01)
INTERESADO (01)
JRQZ/le/rosy

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO

RESOLUCION DIRECTORAL Nº 0016-2024- USA-EPG/UANCV

Juliaca, 23 de Enero del 2024.

VISTOS:

El expediente N° 2024-000004, de fecha 02 de enero del 2024, presentado por el (la) Mgtr. **MULLISACA CONTRERAS ELIANA** con DNI N° **29662856**, código de matrícula **131680032**, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCION DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023** Linea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL -P68** para optar el grado de **DOCTOR** en: **INGENIERIA AMBIENTAL**, de la Escuela de Postgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez **Sede Juliaca**.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.

Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.

Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.

Que, en el **Art.60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.

Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.

Que, mediante oficio circular N° 1144-2023-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 06 de diciembre del 2023, se nomina al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente	**: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
Primer Miembro	**: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
Segundo Miembro	**: Dr. JULIO CESAR LARICO MAMANI**
Asesor	**: Ph.D ISIDRO ALBERTO PILARES HUALCA**

Que, con registro N° 0004030, de fecha 06 de diciembre del 2023, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCION DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023** cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de Doctorado y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCION DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023** para obtener el grado académico de **DOCTOR** en: **INGENIERIA AMBIENTAL** , de la UANCV.

SEGUNDO: ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Vicerrectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor

http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA BIOACUMULACIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%	17%	7%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.revistas.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Metadatos complementarios - UANCV

TÍTULO	
EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	ELIANA MULLISACA CONTRERAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	29662856
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0555-2459
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-6613-6925
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Miembro del jurado 2	
Nombres Y Apellidos	RONALD MADERA TERAN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02429150
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7818-4511
Datos de investigación	
Línea de investigación	CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P68
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	**Dirección:** COMUNIDAD PAXSA, DISTRITO DE TIQUILLACA **País:** Perú **Departamento:** PUNO **Provincia:** PUNO **Distrito:** TIQUILLACA -15.79712, -70.18733 https://maps.app.goo.gl/co2xWupAb9fZQ7Vv6 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 - 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08

UNIVERSIDAD NACIONAL "MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC"
ESCUELA DE POSTGRADO

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ELIANA MULLISACA CONTRERAS, identificado con DNI Nro. 29662856 en mi condición de egresado de:

☐ **Escuela Profesional**

☐ **Programa de Segunda Especialidad**

☒ **Programa de Maestría o Doctorado**

DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación,** ☐ **Trabajo Académico** denominada:

EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

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 suyas 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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 27 de Enero del 2026



OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

A Dios todopoderoso, por que con él, todo es posible, me dio fuerzas para cumplir con mis metas y sueños,

A mis padres Benjamín y Rosa, que me formaron con valores, requisitos para lograr mis objetivos.

A mis dos hijas Danery y Damarys, ellas son mi razón y motivo para seguir adelante.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

A mi asesor, por estar siempre dispuesto a apoyarme.

A los miembros del jurado por alentarme para la culminación del proyecto.

A Benito Hugo Fernandez Ochoa, por estar pendiente de mi formación académica.

A Ruth Paricahua, más que amiga hermana, siempre alentándome, muchas gracias.

A todas las personas que fueron parte de mi vida, cada una de ellas cumplió una función en la ejecución y culminación del presente proyecto.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

INDICE

INDICE i
INDICE DE TABLAS iv
INDICE DE FIGURAS vi
RESUMEN vii
SUMMARY ix

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la situación problemática 1
1.2. Formulación del planteamiento del problema 1
1.2.1. Pregunta General 3
1.2.2. Preguntas Específico 3
1.3. Justificación de la investigación 3
1.5.2. Hipótesis Especifica 5
1.6. Variables e indicadores 5
1.6.1 Conceptualización de variables 5
1.6.2 Operacionalización de las Variables 6

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio 7
2.1.1. A nivel Internacional 7
2.1.2. A nivel Nacionales 10
2.1.3. A nivel regional y local 11
2.2 Bases Teóricas 11
2.2.1. Quinua 11
2.2.2. Contaminación del suelo 20
2.2.3.-Metales Pesados 23
2.2.4. Adsorción 26
2.2.4.2 Tipos de Adsorción 30
2.2.4.2.2 Adsorción química o quimisorciòn 30
2.2.4.3 Factores que afectan los procesos de adsorción 30
2.2.4.3.1.-Tamaño 30

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

2.2.4.3.2.-**Adsorbato y Adsorbente** 31
2.2.4.3.3 pH 32
2.2.4.3.4.-Temperatura 33
2.2.4.3.5 Tiempo de contacto 33
2.2.4.3.6 Presencia de otros iones. 34
2.2.5 Capacidad de Adsorción 35
2.2.6. Bioadsorción de metales pesados 36
2.3. Marco Conceptual 46

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Lugar de estudio 48
3.2. Enfoque de la investigación 49
3.3. Métodos aplicados a la investigación 49
3.4. Tipo de Investigación 49
3.5. Nivel de Investigación 49
3.5.1. Descriptivo 49
3.5.2. Correlacional 49
3.5.3. Explicativo 50
3.6. Diseño de Investigación 50
3.7. Población y muestra 51
3.7.1. Población 51
3.7.2 Muestra 52
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 52
3.8.1. Técnicas de investigación 52
3.8.2. Instrumentos de investigación 52
3.8.3. Metodología 53
3.9. Procedimiento de tratamiento de datos 58
3.10. Diseño de contrastación de la hipótesis 58

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

4.1. Presentación, análisis e interpretación de los datos 60
4.3. Proceso de la prueba de hipótesis 68
4.3. Discusión de los resultados 76

CONCLUSIONES 81
RECOMENDACIONES 82
REFERENCIAS 83

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 6

Tabla 2 Compuestos fenólicos en la hoja de la quinua..... 15

Tabla 3 Capacidad antioxidante del grano y hojas de la quinua..... 16

Tabla 4 Clasificación de compuestos fenólicos según el número de carbonos en la molécula 18

Tabla 5 Elementos químicos típicos presentes en residuos mineros 22

Tabla 6 Estándares de calidad ambiental-suelos 23

Tabla 7 Tipos de adsorbentes no convencionales..... 29

Tabla 8 Materiales bioadsorbentes y alguno de sus componentes que atrapan a los metales pesados..... 44

Tabla 9 Grupos funcionales involucrados en la bioadsorción..... 45

Tabla 10 Matriz Experimental 51

Tabla 11 Análisis de varianza para el modelo ANOVA..... 58

Tabla 12 Resultados de la concentración de plomo después de la adsorción con las hojas de Chenopodium quinoae 65

Tabla 13 Resultado de las concentraciones de Plomo en suelo agrícola de Tiquillaca. 66

Tabla 14 Resultado de la capacidad de adsorción de Plomo en suelo agrícola con hojas Chenopodium quinoae..... 67

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Tabla 14 Análisis de Varianza ANOVA..... 69

Tabla 15 Análisis de Varianza para determinar la significancia en la adsorción de plomo en suelos con hojas Chenopodium quinoae 74

Tabla 16 Análisis de varianza ANOVA significancia para los tratamientos 74

Tabla 1775 Análisis de Tukey para suelos agrícolas con y sin adición de hojas de Chenopodium quinoae 75

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista general de la quinua (Chenopodium quinoae)..... 12

Figura 2 Sitios de unión de iones metálicos en la molécula de polifenol 14

Figura 3 Procesos de migración y transformación de los contaminantes..... 24

Figura 4 Representación esquemática de la instauración del campo de fuerzas en la superficie de un sólido 27

Figura 548 Ubicación de lugar de estudio 48

Figura 6Grupos funcionales identificados por el método FTIR antes de la sorción61

Figura 7 Grupos funcionales de las hojas de quinua identificados por FTIR después de la sorción 64

Figura 9 Grafica comparativa de las concentraciones de plomo en suelos agrícolas sin y con adición de hojas de Chenopodium quinoae 76

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

RESUMEN

Los pasivos ambientales resultan ser una amenaza, debido a la contaminación que provocan especialmente en el suelo, ello debido a que estos materiales presentan concentraciones elevadas de metales pesados como el plomo, elemento altamente peligroso debido su alta toxicidad y larga persistencia en el suelo; ante esta problemática se requiere tecnologías que promuevan la inmovilización del plomo en el suelo, teniendo como alternativa los procesos de adsorción realizada por compuestos bioactivos presentes en las hojas de quinua(compuestos fenólicos), diversas investigaciones manifiestan que estos componentes permiten la biosorción del plomo en el área superficial del adsorbente mediante procesos de fisisorción y quimio sorción. evaluar el efecto de *Chenopodium quinoae* en la eliminación de plomo en suelos agrícolas contaminado por la minería.. La metodología implico la evaluación de 9 tratamientos con 3 réplicas, los tratamientos fueron dispuestos según diseño experimental n^k, donde los parámetros evaluados fueron: pH y temperatura, con niveles de 2-4-6 y 15°C-30°C-45°C respectivamente, la interacción de cada una de las variables permitió identificar las variables con efecto en la adsorción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros. Los resultados mostraron que las hojas de quinua contienen compuestos fenólicos evaluados por FTIR, en cuanto a la capacidad de adsorción se obtuvo valores que oscila entre 3.889 a 3.942 mg/g y porcentaje de adsorción de plomo del 97.232 al 98.531%, el análisis de varianza de los resultados indican que las variables y sus interacciones no presentan influencia significativa en los procesos de bioadsorción; además la en

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

suelos agrícolas contaminados con relaves mineros los resultados muestran que las hojas de quinua presentaron eficiencia cercana al 99.9%.

Palabras Claves: *Adsorción, Chenopodium Quinoae, Plomo, suelo.*

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

SUMMARY

Environmental liabilities pose a threat due to the pollution they cause, especially in the soil. This is because these materials contain high concentrations of heavy metals such as lead, a highly dangerous element due to its high toxicity and long persistence in the soil. To address this problem, technologies are needed to promote lead immobilization in the soil. One alternative is the adsorption processes carried out by bioactive compounds present in quinoa leaves (phenolic compounds). Several studies indicate that these components allow the biosorption of lead on the surface area of the adsorbent through physisorption and chemisorption processes. To evaluate the effect of Chenopodium quinoae on lead removal in agricultural soils contaminated by mining, the methodology involved the evaluation of 9 treatments with 3 replicates. The treatments were arranged according to an nk experimental design, where the evaluated parameters were: pH and temperature, with levels of 2-4-6 and 15°C-30°C-45°C respectively. The interaction of each of the variables allowed the identification of the variables with an effect on lead adsorption in soils contaminated with mining tailings. The results showed that quinoa leaves contain phenolic compounds evaluated by FTIR. Regarding adsorption capacity, values ranging from 3.889 to 3.942 mg/g were obtained, and the percentage of lead adsorption ranged from 97.232 to 98.531%. The analysis of variance of the results indicates that the variables and their interactions do not have a significant influence on the bioadsorption

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

processes. Furthermore, in agricultural soils contaminated with mining tailings, the results show that quinoa leaves exhibited an efficiency close to 99.9%.

Keywords: Adsorption, Chenopodium quinoae, Lead, Soil

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

INTRODUCCIÓN

El suelo ofrece servicios ecosistémicos al hombre (Bedoya-Gómez et al., 2021), pero su afectación por compuestos metálicos como el arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc suponen una baja calidad del suelo, ya que investigaciones realizadas han demostrado el aspecto de estos elementos en pozos de agua para dispendio y sedimentos presente en áreas circundantes(Soto Trinidad, 2017; Wang et al., 2019).

El plomo es un elemento considerado potencialmente toxico, persistente biomagnificable e irreversibilidad en el medio ambiente(Porras & Martinez, 2019) y su presencia en los residuos mineros es realmente alarmante ya que puede ser dispersado por el viento a zonas colindantes con actividad agrícola y las precipitaciones fluviales ocasionan la solubilidad y lixiviación del metal(Frachini et al., 2021) en la tierra, afectando negativamente la calidad de la tierra y agua superficial (Wang et al., 2019). Por lo que se requiere la aplicación de tecnologías innovadoras de remediación.

Actualmente los residuos agrícolas están siendo utilizados en procesos adsortivos, el cual utiliza materiales biológicos para eliminar metales pesados(R. Liu & Zhao, 2007) aprovechando la alta capacidad de unión que sus componentes poseen, tales como: carbonilo, compuestos fenólicos, amido, amino, grupos sulfhidrilo, carboxílicos, alcoholes y ésteroles (Sud et al., 2008). Ante ello diversas investigaciones infieren eficiencias de adsorción de plomo con residuos agrícolas

(70 al 98%) como cáscara de gramo negro, flores de Humulus lupulus, hojas de té y el jacinto de agua(Ahluwalia & Goyal, 2005).

Por lo expuesto la investigación tiene por finalidad evaluar la capacidad de adsorción del plomo con *Chenopodium quinoae* en suelos agrícolas con presencia de residuos mineros, la importancia radica en la aplicación de una tecnología ambientalmente sostenible en la remediación de suelos.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la situación problemática

El suelo ofrece aportes de los ecosistemas en el sustento humano (Burbano,2016), los mismos que vienen siendo afectados por la inadecuada disposición de los residuos mineros(Li et al,2014) cuyo contenido en metales exceden los limites(Yin et al., 2016), lo cual representa un problema ambiental por la mala distribución de plomo en los diferentes estratos del suelo(Chen et al.,2016), lo que ocasiona que este elemento se infiltre hasta las aguas subterráneas que es usado como agua de consumo para los pobladores del lugar (Chamorro & Sanchez, 2012), dando origen a diferentes enfermedades en los pobladores.

El plomo es un metal toxico, albergado en suelos no cultivados, en concentraciones de 8 a 20mg Pb/kg, y en suelo agrícola se encuentra en concentraciones mayores a 360mg Pb/kg (Mendoza Vizcaíno et al., 2017) y dado su alto potencial tóxico la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha clasificado como una de las 20

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

sustancias químicas más dañinas para el hombre(Lavado Meza et al., 2010), por lo que se requiere técnicas que inmovilicen al metal en el suelo.

Existen técnicas físicas y químicas para inmovilizar metales en el suelo, pero son costosas y dañan la estructura del suelo, por ende se necesita alternativas biológicas que promueva la biorremediación de los suelos. Resultando dentro de estas alternativas el uso de materiales biológicos y/o residuos agrícolas que interactúan con los iones metálicos(Murithi et al., 2014) eliminando o reduciendo el contenido de plomo en el suelo.

Los materiales biológicos como las hojas de Chenopodium Quinoae, es un cultivo andino halófito (resistente a sales) y rústico que se desconoce su aplicación como adsorbente de metales pesados (Meza Lopez, 2017) en el suelo ocasionando su reducción o eliminación. Estos procesos se ven favorecido por el pH, temperatura, concentración del adsorbato y adsorbente, así como la duración del contacto, la fuerza iónica, la química de los iones metálicos y la composición de la pared celular(Dodbiba et al., 2015), siendo estos últimos los que interactúan con los iones metálicos (Murithi et al., 2014) reduciendo o eliminando el contenido de los metales en el suelo.

En ese entender las hojas de la Chenopodium Quinoae resulta ser una excelente alternativa para eliminar los metales pesados del suelo haciendo uso de los componentes antioxidantes que contiene(Tarquino, 2018), los que adsorben y forman complejos con iones metálicos y luego reducen el contenido de los metales en el suelo. Por consiguiente, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de

Chenopodium quinoae en la eliminación de plomo en suelos agrícolas contaminado por la minería.

1.2. Formulación del planteamiento del problema

1.2.1. Pregunta General

¿Cuál será el efecto de *Chenopodium quinoae* en la adsorción de plomo en suelos agrícola contaminado por residuos mineros en Tiquillaca?.

1.2.2. Preguntas Específico

¿ Cuales son los grupos funcionales que contiene la biomasa de la *Chenopodium quinoae* que actúan como adsorbentes del plomo?.

¿Cuál es el efecto del *Chenopodium quinoa*e en la capacidad de adsorción del Plomo bajo parámetros de control pH y temperatura en suelo?.

¿Cuál será el porcentaje de adsorción del Pb con *Chenopodium quinoae* en suelos agrícolas contaminados por residuos mineros de Tiquillaca?.

1.3. Justificación de la investigación

En lo ambiental, se tiene distintas metodologías para la remediación del suelo, pero estas metodologías hacen uso de sustancias que provocan más daño ambiental, por ello el uso de sobrantes vegetales como agentes adsorbentes: residuos de plátano, mango, té, moringa etc., se presentan como solución potencial para la crisis ambiental que atraviesa el mundo entero,ya que inmovilizaría A la proliferación de metales pesados en los suelos; en este contexto, las hojas de la quinua son residuos disponibles que pueden ser valorizados aprovechando sus

componentes fenólicos con acción adsorbente en la remoción de Pb del suelo.

En lo Social, los resultados de la investigación en desarrollo permitirán resguardar la salud de las personas expuestas a efluentes y alimentos producidos en suelos con alto contenido de Pb; ya que, la aplicación de la presente tecnología permitirá inmovilizar al Pb del suelo y de esta manera impedir su ingreso a la cadena trófica. En lo económico, los tratamiento para la remediación del suelo resulta ser costoso, por lo que la aplicación de residuos orgánicos provenientes de la agroindustria permitirán la reducción de costos en la remediación de suelos y por otro lado otorgaran valor agregado a los residuos vegetales de la quinua, ya que puede que pueden inmovilizar a los metales pesados en la tierra.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de *Chenopodium quinoae* en la adsorción de plomo en suelos agrícolas contaminados con residuos mineros en Tiquillaca.

1.4.2. Objetivo Especifico

Identificar los grupos funcionales que contiene la biomasa de la *Chenopodium quinoae* que actúan como adsorbentes del plomo.

Determinar la influencia del pH y temperatura en la capacidad de adsorción de plomo con *Chenopodium quinoa*e en suelo.

Determinar el porcentaje de adsorción del Pb con *Chenopodium quinoae* en suelos agrícolas contaminados por residuos mineros de Tiquillaca.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Es posible que las hojas *Chenopodium quinoae* presente alta capacidad de adsorción de Pb en superficies agrícolas contaminado con restos mineros de Tiquillaca

1.5.2. Hipótesis Especifica

Las hojas de la *Chenopodium quinoae* presenta compuestos polifenolicos que adsorben plomo.

El pH, temperatura y sus interacciones afectan significativamente la capacidad de adsorción de Pb con hojas *Chenopodium quinoae* en suelos.

Las hojas *Chenopodium quinoae* presentan elevados porcentajes de adsorción de plomo en suelo agrícola contaminados con residuos mineros de Tiquillaca.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1 Conceptualización de variables

Variables dependientes

Capacidad de adsorción de Plomo *con Chenopodium quinoae* de adsorción de Plomo

Variables independientes

Suelo contaminados con Plomo bajo parámetros de control de:

pH 2, 4, 6

Temperatura 15; 30; 45ºC

1.6.2 Operacionalización de las Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÒNES	INDICADOR	METODOLOGIA
VARIABLE INDEPENDIENTE Suelo contaminado con Plomo Bajo parametros de control	pH T°	2-4-6 15, 30 y 45 ºC	ENFOQUE Cuantitativo NIVEL: Explicativo TIPO Experimental Diseño factorial 3^K ANOVA Método
VARIABLE DEPENDIENTE Capacidad de Adsorción de *Chenopodium quinoae*	 Adsorción	Capacidad de adsorción mg/g	

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. A nivel Internacional

Vergara & Francisco,(2017), el estudio de investigación tiene por objetivo evaluar la metodología empleada para evaluar la cabida de la fárfara de mandarina para adsorber plomo y cromo implicó la manipulación de parámetros, incluyendo el tamaño de partícula (menos de 0.3 mm, entre 0.3 y 0.6 mm, y mayor de 0.6 mm), la duración de la agitación y las muchedumbres de los metales. para subterfugios de plomo y cromo se fraguaron a una concentración de 5 ppm y un tiempo de agitación de dos horas para este último. Los resultados mostraron eficiencias de remoción del 71.9 y 54.5% a pH=4 y tamaño de partícula de 0.3mm; en cuanto al estudio isotérmico se obtuvo que los modelos de Langmuir y Freundlinch representan los procesos de adsorción de los cuales se obtuvo una tasa máxima de adsorción qmax=39.68 mg plomo/g biosorbente y 20.53 mg cromo/g biosorbente. Se observa que el biosorbente adsorbe plomo con alta eficiencia, mientras que su rendimiento en la captura de cromo es ligeramente inferior.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Tejada Tovar et al.,(2016), Este estudio se centró en la evaluación de las mejores condiciones sobre la retención de plomo en el agua industriales segundarios mediante el uso de arista de naranja y zuro de maíz en la generación de biomasa. variando el tamaño de partícula y el pH de la solución. Los resultados muestran que el exocarpo de la naranja con tamaño de partícula de 1 mm y pH=6 presenta porcentajes de adsorción del 99.2%, mientras que el zuro de maíz con tamaño de partícula de 0.5mm presento 67.2% de adhesión. La cinética de adsorción de Pb (II), presento modelo de primer orden modificado el mayor grado de ajuste, mientras que, para la modelización de la isoterma, el modelo que mejor se adaptó a los resultados experimentales fue el establecido por Freundlich.

Vizcaíno et al., (2017), la investigación se valoró la capacidad de adsorción y la eficacia de eliminación de Pb+2 en solución acuosa con biomasa. Para determinar el impacto de la concentración del adsorbente, el lapso de contacto y el pH de la solución, se implementaron experimentos por lotes. Los resultados mostraron porcentajes de remociones del 97%. La amplitud máxima de adsorción de 172.41 mg/g se logró ajustando los resultados de equilibrio experimental ajustados al modelo de Langmuir con R2 = 0.9816, bajo las condiciones de 0.2g de biomasa/200mL, pH 5.5 y 3 horas de contacto.

Basu et al.,(2017), evaluaron la acción el empleo de residuos de fárfara de pepino en la aglutinación de plomo. La biomasa se caracterizó mediante TGA, SEM, EDAX, XRD, FTIR, la adsorción óptima se produjo a pH 5,0 y a una temperatura de incubación de 30 °C. En 60 minutos, el proceso de adsorción basado en la cinética

de pseudo-segundo orden se completó con 1.0 g de sorbente, lo cual fue suficiente para adsorber 133.60 mg de plomo (qmax). El modelo de isoterma de Langmuir demuestra el proceso de adsorción en monocapa.

Anwar et al.,(2010), experimentaron la adhesión de plomo (II) y cadmio (II) en cáscaras de plátano la concentración del mineral que se analizó empleando espectroscopía de absorción atómica de llama. Se exploro el porcentaje de remoción en la porción de adsorbente, el pH, el lapso de unión y la velocidad de agitación. Los análisis mostraron remoción máxima de 89.2% y 85.3% para dosis de 30 g /L y 40 g /L para cadmio y plomo.

Barbera et al.,(2023), se evaluó el cladodio crudo de *Opuntia ficus* indica (OFI) como un biosorbente de aleaciones pesados (Ni, Pb, Cu y Cd). Los grupos funcionales se identificaron mediante FTIR antes y después del contacto con los iones en un medio acuoso. La adsorción se dio en condiciones discontinuas a diferentes pH:4; 5 y 6 y diferentes concentraciones de metal y diferentes cantidades de biomasa. Los resultados mostraron que el OFI presento el 80% de eliminación para todos los metales en sólo 30 minutos de tiempo de contacto.

Basu et al.,(2017), evaluaron la aglutinación del plomo con fárfara de pepino,para tal efecto se determinó los grupos eficaces presentes en la cascara de pepino responsables de la biosorción mediante SEM, EDAX, XRD, FTIR el proceso de biosorción se realizó con 0.1 g dosis de biosorbente y 50 ml de recurso de plomo a pH=5.0, a una T=30 °C ,velocidad de agitación=120 rpm, durante 24 h, finalmente la solución fue centrifugada y filtrada y en la solución sobrenadante se analizó la concentración residual de plomo. Los resultados mostraron que la cascara de

pepino presento el 90% por ciento de adsorción, por lo que concluyeron que la cascara de pepino puede ser usado como biosorbente eficaz para el tratamiento de plomo.

2.1.2. A nivel Nacionales

Lavado Meza & Óre Jiménez,(2016), estudiaron la eliminación de iones de Pb(II) mediante el uso de biomasa de mazorca de maíz químicamente modificada. Se utilizó el análisis espectroscópico infrarrojo por transformada de Fourier para caracterizar el grano de maíz modificado de Fourier (FTIR) identificando a los grupos OH^- y grupos carboxílico COO^-; también la capacidad de adsorción se determinó en función de la concentración inicial de la solución de Pb(II), el pH, la dosis de biosorbente y la duración del contacto. Los resultados indicaron que las condiciones óptimas para la adsorción de Pb(II) fueron 4g/L de cáscara de maíz, un tiempo de agitación de 60 minutos y un pH de 5.0.

Lavado Meza et al.,(2020), investigaron la remoción de plomo con Las características físicas y químicas de la biomasa de las cladodios de cactus (BCT) se determinaron utilizando FTIR y SEM/EDX. La capacidad de biosorción (qe) se evaluó en un sistema por lotes donde la relación masa/volumen de BCT era de 4 g/L, el pH era 4.5 y el tiempo de contacto fue de 1 hora. Los resultados indican que la biomasa puede ser utilizada como un biosorbente efectivo para la remediación de agua contaminada con Pb (II), ya que indican una absorción máxima de 50.25 mg/g en BCT.

2.1.3. A nivel regional y local

Choquejahua (2018), determinó la capacidad eliminación de arsénico del medio acuoso mediante bioadsorción con biomasa de cereales de cebada (Hordeum vulgare L.) y avena (Avena sativa L.) en condiciones altoandinas Puno en puesto a la masa del biosorbente y pH; ambas especies se trabajaron con una concentración inicial de 1 mg/L de arsénico en solución acuosa (300 ml de As), a una temperatura de 15 °C, con una agitación de 200 rpm y un tiempo de interacción de 330 min. Los resultados obtenidos muestran porcentajes de remoción de 90.6% y 89.6% para la cebada y avena respectivamente.

Avila & Alata (2020), realizaron una revisión bibliográfica sobre la investigamos del rendimiento de la eliminación de arsénico mediante filtros de harinas vegetales estratificados y desarrollamos un filtro que utilizaba harina de juncos. Se ha afirmado en los análisis revisados revelan que las harinas de origen vegetal son altamente efectivas en la eliminación de arsénico del agua. En derivación, predicen que la harina de juncos puede eliminar el arsénico del agua subterránea debido a los constituyentes químicos de esta especie, que son propicios para la adsorción de arsénico.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Quinua

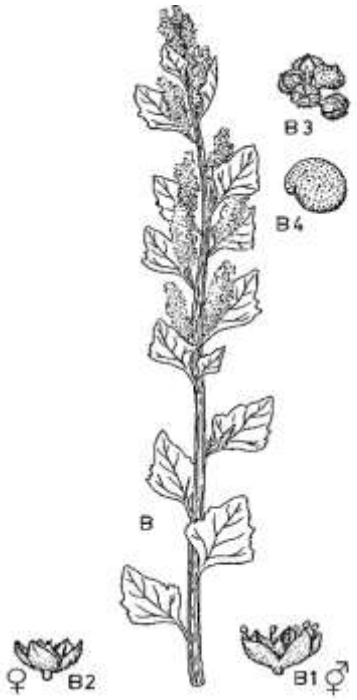
La quinua es un grano andino de la familia Chenopodiaceae y es nativo de América del Sur. Sus propiedades nutricionales se atribuyen a su alto contenido de proteínas (15%), así como a sus aminoácidos, almidón, minerales y lípidos.

Además, es un germen significativa de vitaminas y contiene polifenoles, fitoesteroles y flavonoides, que pueden tener beneficios nutracéuticos(Corimayhua Silva, A.; Silva Paz, 2017).

El género Chenopodium, la familia Chenopodiaceae y la especie quinua son todos miembros de la clase Dicotyledoneae. Este cultivo tiene una epidermis firme y compacta, una altura que varía de 0.5 a 3 metros, y raíces vigorosas que tienen entre 14 y 30 cm de profundidad. El grado de ramificación está influenciado por factores genéticos y ambientales (Figura 1).

Figura 1

Vista general de la quinua (Chenopodium quinoae)



Nota: Perspectiva general de Chenopodium quinoae (B); flor hermafrodita (B1); flor hembra (B2); fruto (B3); semilla (B4 (Corimayhua Silva, A.; Silva Paz, 2017)

Las hojuelas de quinua se caracterizan por poseer se ha determinado un contenido significativo de compuestos fenólicos, con una biodisponibilidad potencial del 80%, y se ha verificado que presentan actividad antioxidante gracias a su concentración de fenoles. (Corimayhua Silva, A.; Silva Paz, 2017). El incluso de polifenoles totales es de 131.8 mg/100g y 62.07 mg/100g de peso seco, atribuido a los flavonoides totales(Oña Simbaña, 2023).

Las hojuelas de quinua presentan efecto antioxidante, atribuible a los flavonoides (113.09 mg quercetina/100 g), antocianinas (9.06 mg/100 g) y compuestos fenólicos (900.10 mg AGE/100 g), vitaminas C (19.49 mg/100 g), vitamina A (311.22 µgER/100 g), ácido fólico (0.03 mg/100 g de hoja fresca) (Machado et al., 2013).

2.2.1.1 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente:

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Subclase : Caryophyllales

Orden : Caryophyllales

Familia : Chenopodiaceae

Subfamilia : Chenopodioideae

Tribu : Chenopodieae

Genero : Chenopodium

Especie : Chenopodium Quinoae

2.2.1.2 Composición de las hojas de quinua

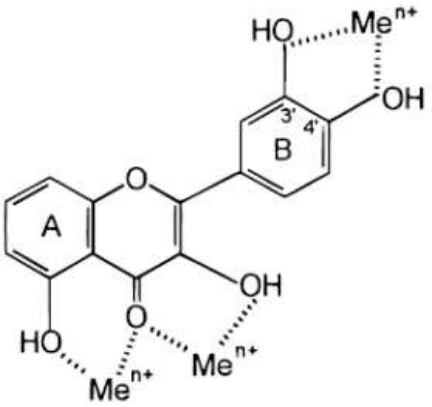
Compuestos fenólicos

Es un grupo diverso de metabolitos secundarios, caracterizados por la presencia de grupos -OH, unidos a un grupo fenol es un anillo aromático que típicamente se asocia con uno o más residuos de azúcar, pero también puede encontrarse unido a otros compuestos fenólicos, aminas, lípidos y otros ácidos.

Los fenoles presentan reacción acida por la disociación de un protón(H^+) del radical oxidrilo (-OH) (Viña Z, 2008), son donantes de hidrógeno particularmente efectivos. Su potencial antioxidante depende de la conjugación de los grupos hidroxilo y su posición, así como de la presencia de donantes de electrones en la estructura del anillol(Peña & Restrepo, 2013). En ese sentido la neutralización de radicales libres es la forma en que los compuestos fenólicos expresan su capacidad antioxidante y la interacción con metales mediante quelación en los sitios de unión (Figura 2).

Figura 2

Sitios de unión de iones metálicos en la molécula de polifenol



Nota: Lugares de unión de los metales en las moléculas de polifenol (Vilacrés et al., 2014)

Estudios realizados por Gawlik-Dziki et al.,(2013), identificaron diversos tipos de estos compuestos en las cogollos de la quinua mediante análisis por HPLC, los cuales se especifican en la tabla 2.

Tabla 2

Compuestos fenólicos en la hoja de la quinua

Componentes fenólicos	Peso seco ug/g
Ácido Gálico	162.85±12.51
Ácido p-hidroxibenzoico	10.28±0.68
Ácido Clorogénico	37.55±2.15
Ácido Vinílico	22.67±1.65
Ácido Siríngico	18.69±0.98
Ácido p-cumárico	33.31±2.65
Ácido Ferúlico	762.29±42.31
Ácido Sinapinico	193.48±11.34
Ácido Benzoico	1.49±0.25
Ácido o-cumárico	2.29±0.21
Kaempferol	46.00±5.21
Quercetina	6.88±0.581
Isohamnetina	3.06±0.24
Rutina	62.12±5.65

Nota: Principales componentes fenólicos presente en las hojas de la quinua, dentro de ellos que destaca el ácido Ferúlico y Sinapinico(Corimayhua Silva, A.; Silva Paz, 2017).

Dentro del grupo de los polifenoles se tiene a las flavona, isoflavonas, antocianidinas y flavonoles, compuestos con actividad antioxidante(tabla 3) que se encuentra en mayor cantidad en las hojas en relación al grano(Vilacrés et al., 2014).Otros compuestos fenólicos contenidos son los ácidos fenólicos (ácido benzoico y hidroxicinámico), flavonoides (flavonoles y antocianinas), estilbenos y lignanos(Peña & Restrepo, 2013).

Tabla 3

Capacidad antioxidante del grano y hojas de la quinua

Fracción de la Planta	Antocianinas Totales (mg/100g)		Flavonoides (mg quercetina/100g)		Polifenoles (mg AGE/100g)		Capacidades antioxidantes µmoles TrofoxEquivalente/g	
	Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco
Granocrudo	0.68	0.77	1.74	9.48	203.87	1110.39	28.15	31.9
Grano Lavado	0.32	0.38	1.26	6.29	183.34	996.03	25.08	28.5
Granococido	0.26	0.3	1.05	5.75	58.83	309.58	18.94	21.5
Hoja cruda	9.06	49.36	113.09	616	900.1	4902.53	8.11	44.1
Hoja Cocida	8.8	48.18	72.88	397	833.06	4537.36	7.99	43.5

Nota: Capacidad antioxidante de la quinua (Campos-Rodriguez et al., 2022)

Taninos

Son todos los tejidos vegetales, incluyendo flores, frutos, semillas, hojas, raíces y corteza, contienen compuestos polifenólicos, que son un tipo de metabolito secundario y corteza(Valenzuela et al., 2023). Estos compuestos se clasifican en taninos hidrolizables y condensados; Las proantocianidinas, o taninos condensados, son polímeros aromáticos multi-hidroxilados que se producen mediante la esterificación de agregados polifenólicos flavonoides de 15 carbonos (C_6-C_3-C_6)(Wong-Paz et al., 2021).

Los taninos hidrolizables surgen a partir de la reacción de esterificación de mezclados polifenólicos distintos de los flavonoides. (ácido gálico o elágico), este grupo incluye el ácido tánico ($C_{76}H_{52}O_{46}$), que está compuesto por glucosa y ácidos fenólicos, el ácido tánico es el componente que otorga propiedades astringentes y antioxidantes(Palacio-Arango et al., 2018). Los taninos son biosorbentes excepcionales para metales pesados, colorantes, tensioactivos y compuestos farmacéuticos en aguas contaminadas debido a su alta afinidad por los iones metálicos y la presencia de múltiples grupos hidroxilo fenólico adyacentes. A través de grupos funcionales activos específicos, incluyendo grupos amino, carboxilo, fenólico o carbonilo, se efectúa la acción biosorbente(Cuetocue Petins et al., 2020).

Flavonoides

Compuestos orgánicos formados en virtud de un puente de carbono que conecta dos ciclos aromáticos, exhiben una alta capacidad antioxidante y bajos potenciales redox que funcionan como donadores de protones. Esto conduce a la oxidación de las sustancias, lo que a su vez inhibe los procesos de oxidación y facilita la reducción de la mayoría de los radicales libres (•O2, ROO•, RO•, •OH, NO•) y metales específicos (Méndez., 2020).

Ácidos fenólicos

Están formados por los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico son compuestos que difieren en sus estructuras. Los primeros son compuestos que contienen un anillo aromático que está sustituido por un grupo carboxilo y grupos hidroxilo en las diversas posiciones abiertas. Estos últimos son derivados del ácido cinámico y

presentan una cadena de tres carbonos en la estructura precursora (Méndez et al, 2020).

Existen más de 8000 compuestos fenólicos y su clasificación es dado según Los compuestos fenólicos abarcan una amplia gama de estructuras, incluyendo moléculas básicas como los ácidos benzoicos y polímeros complejos como los taninos condensados, de acuerdo con el número de carbonos en la molécula (tabla 4). El grupo de los flavonoides es uno de los más estudiados, con cada familia conteniendo un número más o menos diverso de compuestos.

Tabla 4

Clasificación de compuestos fenólicos según el número de carbonos en la molécula

Estructura	Clase
C_6	Fenoles simples
C_6-C_1	Ácidos fenolicos
C_6-C_2	Acetofenonas, ácidos fenilacéticos
C_6-C_3	Acidos cinámicos,cumarinas,isocumarinas
C_6-C_4	Naftoquinonas
C_6-C_1-C_6	Xantonas
C_6-C_2-C_6	Estilbenos,antraquinonas
C_6-C_2-C_6	Flavonoides,isoflavonoides
$(C_6$-$C_3)_2$	Ligananos
$(C_6$-C_3-$C_6)_2$	Biflavonoides
$(C_6$-$C_3)_n$	Ligninas
$(C_6$-C_3-$C_6)_2$	Taninos condensables

Nota: Cantidad de átomos de carbono en algunos compuestos fenólicos(Villacrés et al., 2014)

¿Como actúan los polifenoles de la quinua en la inmovilización del plomo en el suelo?

Los compuestos polifenolicos de las hojas de quinua inmovilizan química y físicamente al plomo en suelos, debido a la formación de complejos con los iones de plomo a través de sus grupos hidroxilo, lo cual reduce la biodisponibilidad y movilidad. Los procesos implicados son los siguientes:

Quelación y adsorción

Los compuestos polifenolicos como flavonoides y ácidos fenólicos, tiene grupos OH^- que se unen fuertemente al plomo en el suelo formando complejos estables(quelatos) que los secuestran.

Reducción de movilidad

Al unirse el plomo o pegarse a la biomasa vegetal de las hojas de quinua, disminuye su lixiviación hacia aguas subterráneas y su absorción por plantas. En este entender la biomasa residual de quinua rica en polifenoles funciona como un adsorbente natural, esto avalado por diversas investigaciones que datan que las hojas de quinua anlacanzan porcentajes de adsorción superiores al 99.9% y capacidades de adsorción de hasta 230.55mg/g.

Formación de complejos insolubles

Los polifenoles y otros compuestos de la quinua pueden interactuar con el plomo para formar compuestos insolubles inmovilizando al metal en el suelo.

En conclusión los polifenoles de la quinua son excelentes quelantes que fijan al plomo en el suelo, ofreciendo una solución verde y económica para descontaminar los ecosistemas terrestres.

2.2.2. Contaminación del suelo

La eficacia del suelo es la capacidad del suelo para conservar la integridad ambiental, suscitar la producción de vegetales y sostener la productividad biológica dentro de los límites del ecosistema y salud animal (Bünemann et al., 2018). El estudio del suelo resulta ser más compleja que el aire y el agua, debido a la multifuncionalidad que presenta, ya que su uso no solo se limita al crecimiento de las plantas, sino también a la capacidad que posee en la regulación de las precipitaciones fluviales y el poder de amortiguamiento frente a los contaminantes potenciales(Gibbons & Siemion, 1997).

La contaminación del suelo ocurre cuando un elemento está presente en cantidades superiores a las naturales como resultado de la acción humana, afectando negativamente al medio ambiente. Por lo tanto, los niveles de elementos tóxicos las alteraciones del suelo debidas a las actividades humanas conducen a una serie de efectos negativos en el medio ambiente y la salud (Hooda, 2010), principalmente la presencia de elementos como el As, Cd y Pb, Pb, Cr, Zn, Cd, Cu, Hg, Ni y As (Kabata Pendias & Pendias, 2000). La toxicidad del metal depende de sus propiedades, estado de oxidación y nivel de contaminación del suelo(Lee et al.,

2015) y la oscilación de la disponibilidad y estabilidad de los minerales pesados están determinadas por factores del suelo, como su pH, ya que esta disminuye a medida que el pH aumenta a valores alcalinos neutros, y su disponibilidad aumenta en ambientes de suelos ácidos(Antoniadis et al., 2017; Lim et al., 2013).

Residuos mineros

Son residuos derivados de los procesos mineros, compuestos principalmente por tierra, minerales, agua y roca, y contienen concentraciones elevadas de sustancias químicas (Astete et al., 2009). También se dice que son materiales con presencia de diversos elementos químicos propensos a sufrir transformaciones químicas en el medio ambiente, como hidrólisis, oxidación y lixiviación.

Los residuos mineros son fuente de contaminación, los cuales se generan en grandes cantidades durante las actividades mineras(Lee et al., 2015). Su mala gestión ocasionan influencia negativa en la salud de los seres humanos y en los sistemas ecológicos, ya que se ha demostrado bioacumulación de metales pesados en los tejidos del ser vivo(Dold, 2014). El riesgo y los efectos de los contaminante depende de su dispersión en el medio, lo cual está relacionado a factores ambientales tal es el caso de la temperatura, el viento y las caídas de lluvia.

Los residuos mineros contienen metales potencialmente peligrosos, por lo tanto estos materiales son fuente potencial de contaminación(Trung Hau et al., 2021).Los elementos metálicos y metaloides presente en los relaves de minas se presentan en la tabla 5; siendo el arsénico, el plomo, el cadmio y el uranio los elementos más peligrosos para los seres vivos (Ramdial et al., 2021).

Tabla 5

Elementos químicos típicos presentes en residuos mineros

Símbolo químico	Nombre
Cu	Cobre
Al	Aluminio
Cd	Cadmio
Pb	Plomo
Fe	Hierro
Cr	Cromo
Co	Cobalto
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
Ni	Niquel
V	Vanadio
Zn	Zinc
U	Uranio
REE	Tierras raras

Nota: Constituyentes de los residuos mineros(Cacciuttolo et al., 2023)

Impactos y riesgos relacionados en el suelo

Los impactos ocasionados implica la alteración de la calidad química de los suelos (Rashed, 2010) debido a su contenido en metales pesados y metaloides que afecta el desarrollo de los ecosistemas alterando la capacidad de las floras para realizar la fotosíntesis(Lazo & Lazo, 2020).

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) suelo

Los ECA del suelo son una reseña obligatoria para la aplicación de instrumentos de gestión ambiental, que son aplicables a actividades productivas, extractivas y de servicios. Algunos de los valores de los ECA del suelo son los siguientes que se observan en la tabla 6.

Tabla 6

Estándares de calidad ambiental-suelos

Parámetros	Usos del suelo mg/Kg		
	Suelo Agrícola	Suelo residencial	Suelo comercial
Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Cromo total	1.4	10	1000
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70.0	140	800
Cianuro Libre	0.9	0.9	8

Nota: Valores de algunos metales de ECA-suelo(MINAM, 2017).

2.2.3.-Metales Pesados

Se consideran minerales brutos a los compendios con densidades mayores a 5 g/cc, son componentes naturales del suelo introducidos con el material parenteral (Chen et al.,2015). En la cortezuela terrenal su contenido es menor al 0.1% además de los metales pesados, algunos metales ligeros y no metales son incluidos en esta categoría por su origen y comportamiento, como ocurre con del As, B, Ba y Se(Landauro Sotelo, 2008).

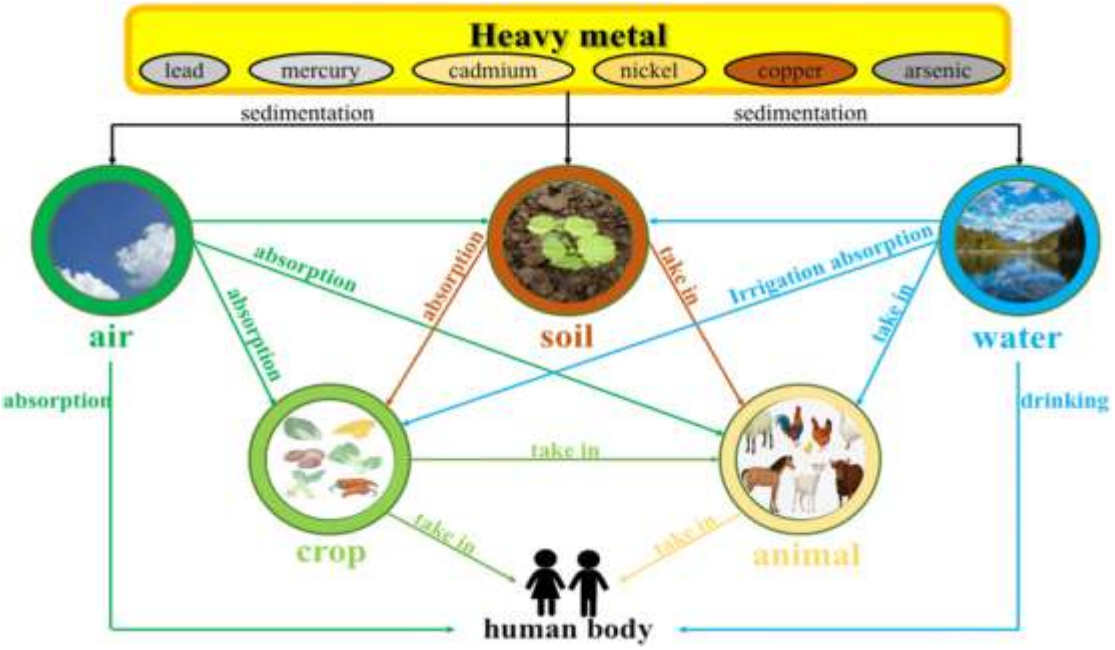
Los principales metales pesados contaminantes son cadmio (Cd), cromo (Cr), arsénico (As), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn) y níquel (Ni), los cuales la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ha clasificado estos metales como contaminantes prioritarios de control (Cravotta & Brady, 2015). Digno a su alta toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumulación, son de importancia ecológica(Yu et al., 2023), son también llamados metales

tóxicos y pueden ingresar a la cadena alimentaria, lo que simboliza una amenaza permisible para el ecosistema natural y la salud del ser vivo(X. Li et al., 2019).

La profanación por minerales pesados, es un problema potencial del suelo debido a su tiempo de permanencia, irreversibilidad, baja transferencia, alta toxicidad, propiedades químicas complejas y fuerte respuesta ecológica. En el suelo ocurren una serie de procesos de migración y transformación, en los que destaca la adsorción, oxidación y reducción, y precipitación-disolución(figura 3)(Yu et al., 2023).

Figura 3

Procesos de migración y transformación de los contaminantes



Nota: Procesos de migración de los contaminantes inorgánicos en el suelo(Yu et al., 2023).

2.2.3.1 Toxicidad de los metales pesados

Los metales pesados son considerados sustancias peligrosas en cantidades mayores al fondo geoquímico natural, estas sustancias poseen tiempos de degradación elevados y pueden ser altamente persistentes. Así, se requiere evaluar la capacidad de migración de los metales pesados para valorar el impacto y riesgo de los contaminantes, ello debido a que la biodisponibilidad de una sustancia depende de la movilidad, en función a esta propiedad el metal pesado puede permanecer periodos prolongados de tiempo en el suelo y causar efecto en el medio ambiente(Landauro Sotelo, 2008).

Plomo

El plomo es un metal pesado que es altamente tóxico y tiene una variedad de efectos adversos en la salud humana, como anemia, hipertensión, esterilidad, daño renal y retraso mental (Lavado Meza & Óre Jiménez, 2016). La concentración de plomo en suelos no cultivados es de 8 a 20 mg Pb/kg, mientras que en tierras agrícolas supera los 360 mg Pb/kg. En la misma línea, los suelos en estrecha proximidad a fuentes de contaminación industrial acumulan concentraciones de 10 g Pb/kg o más (Mendoza Vizcaíno et al., 2017).

El plomo se clasifica como un contaminante ecotoxicológico, y su biodisponibilidad es el resultado de su concentración en el suelo y las partículas, lo que le permite infiltrarse en los organismos. La gestión inadecuada de estos materiales ha resultado en una multitud de problemas ambientales; sin embargo, solo la porción biodisponible es móvil, y su distribución en el suelo depende de la naturaleza de los

compuestos de plomo contaminantes, así como del pH, la mineralogía, la textura y la materia orgánica(Lee et al., 2015).

El plomo, en medios alcalinos precipita como hidróxidos, fosfatos y carbonatos, y en medios ácidos se solubiliza lentamente, de esta manera la colocación del Pb entre la fase sólida y el solvente del suelo dependerá del pH, CIC, la textura y la presencia de arcilla, material orgánica y óxidos de hierro y manganeso (Reyes & Barreto, 2011). Estudios realizados por Ahmed et al., (2019), indican que el pH es un parámetro crucial en la adsorción de Pb en los constituyentes del suelo y el aumento del pH de la solución conduce a un rápido aumento de la carga superficial negativa neta y, por lo tanto, aumenta la afinidad del suelo por los iones metálicos (Wu et al., 2003).

El plomo se encuentra en la corteza terrestre; sin embargo, las actividades antropogénicas tienden a producir concentraciones elevadas. Su presencia ha resultado en bioacumulación en organismos terrestres y acuáticos, lo que ha provocado toxicidad (Vergara & Francisco, 2017). Este metal está presente en el agua en forma de plomo inorgánico divalente. No obstante, la presencia de microorganismos en el suelo también puede resultar en la existencia del catión tetravalente que pueden metilar el plomo inorgánico. En consecuencia, el plomo puede distribuirse en sedimentos y suelos en forma toxica.

2.2.4. Adsorción

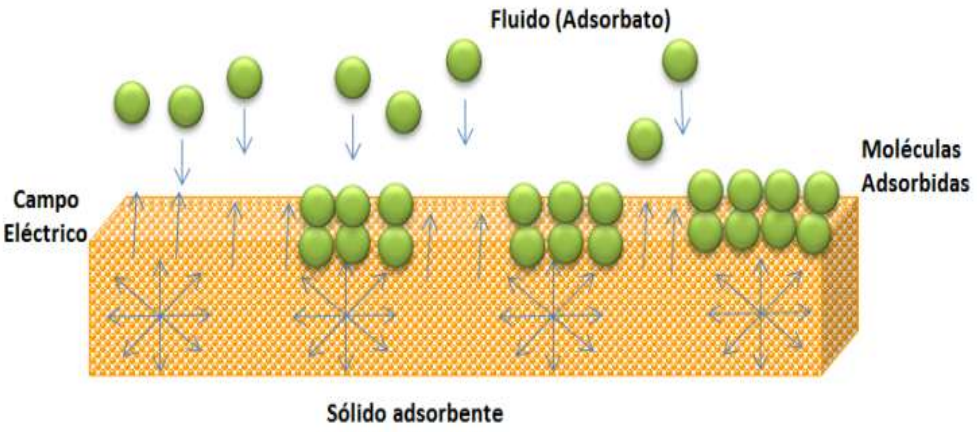
El adsorbato, un componente en estado líquido o gaseoso, se deposita sobre la superficie de un material adsorbente sólido en la interfaz sólido-líquido o sólido-

gas. Este es un fenómeno superficial (Vizcaíno et al., 2017; Arias et al., 2009). este proceso es consecuencia de la insaturación de las fuerzas en la superficie del material adsorbente, lo que posibilita la formación de una asociación al interactuar con un fluido (Pacheco Peña, 2020).

Para Valladares-Cisneros et al., (2017),El proceso físico de adsorción es la retención de partículas, moléculas o iones (adsorbato) en la superficie de un material (adsorbente) como consecuencia de interacciones del tipo de las fuerzas de van der Waals. El material se denomina adsorbente o sustrato, mientras que el adsorbato es la sustancia que se adsorbe utilizado para su adsorción (figura 4).

Figura 4

Representación esquemática de la instauración del campo de fuerzas en la superficie de un sólido



Nota: La figura representa los mecanismos de saturación e insaturación del adsorbente(Pacheco Peña, 2020).

El porcentaje de adsorción (Ecuación 1) puede utilizarse para expresar la cantidad inmovilizada del adsorbato. Este porcentaje representa la proporción del adsorbato que se elimina como resultado de la diferencia de concentración entre los estados pre- y post-adsorción (Meza, 2017).

$$\% \text{ Adsorción} = \frac{Co - Ce}{Co} \; x \; 100 \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde

Co=Concentración inicial

Ce= concentración en equilibrio del adsorbato mg. L^{-1}

Adsorbentes

Dentro de las características de un adsorbente enfatizan la gran superficie de contacto y la alta porosidad, que van acompañadas de la presencia de sitios específicos de adsorción. Los adsorbentes con una superficie adecuadamente grande requieren menos tiempo para la adsorción, lo que los convierte en la opción más popular para la eliminación de contaminantes adsorbentes(Valladares-Cisneros et al., 2017).

2.2.4. 1 Tipos de adsorbentes

Adsorbentes convencionales.- Constituidos principalmente por carbón activado, alúmina activada, arenas y zeolitas que han sido previamente tratadas tratadas, este proceso permite que estos materiales establezcan débiles interacciones intermoleculares con el adsorbato(Memon & Memon, 2015).

Adsorbentes no convencionales.-Llamados bioadsorbentes o adsorbentes verdes(tabla 7), los cuales derivan de los materiales residuales que provienen de la agroindustria: fruta, residuos vegetales y plantas(Valladares-Cisneros et al., 2017).A continuación se muestra una clasificación de adsorbentes no convencionales(Sharma et al., 2011):

a.-Biomasa viva y no viva (microorganismos)

b.-Residuos agroindustriales

c.-Residuos de industria alimentaria

Tabla 7

Tipos de adsorbentes no convencionales

Bioadsorbentes	De donde se obtiene
Algas	Algas rojas
	Algas pardas
Materiales con lignina	Helechos
	Hojas de arbusto y árbol
Taninos	Corteza de árbol
	Café
	Té
Quitina y quitosano	Exoesqueleto crustáceo
	Pared celular de cierto tipo de hongos
Derivados de residuos agrícolas	Arroz y trigo
	Serrín
	Coco
	Tallos y semillas
Derivados de residuos industriales y municipales	Industria del fertilizante Industria del cuero Industria del papel

Nota: Principales adsorbentes convencionales(Duany et al., 2022)

2.2.4.2 Tipos de Adsorción

2.2.4.2.1 Adsorción física o fisisorción

Proceso desarrollado por Las interacciones moleculares entre el adsorbente y el adsorbato son de corto alcance debido a fuerzas atractivas débiles, como las fuerzas de Van Der Waals, en las que las moléculas no comparten ni transfieren electrones (Meza, 2017) siendo denominadas fuerzas gravitacionales o fenómenos de sedimentación(Arias et al., 2009).

2.2.4.2.2 Adsorción química o quimisorciòn

Se da la atracción entre el adsorbente y el adsorbato se aproxima a una longitud de enlace cuando el adsorbato reacciona con la superficie de una sustancia para producir un enlace covalente o iónico corta con energía de enlace alta (Meza, 2017).

2.2.4.3 Factores que afectan los procesos de adsorción

2.2.4.3.1.-Tamaño

Otro factor crítico a considerar en los procesos de adsorción es el tamaño de las partículas del adsorbente, ya que una mayor área de superficie de contacto conducirá a una interacción más activa entre el adsorbente y el adsorbato. Según Porras y Martínez (2019), la capacidad de adsorción en equilibrio aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas. El área externa de la partícula es directamente proporcional al volumen del adsorbato que puede ser adsorbido. En consecuencia, una partícula pequeña tiene una mayor área superficial.

La tasa de bioadsorción Es inversamente proporcional al tamaño de las partículas, ya que las partículas más pequeñas tienen una mayor probabilidad de que el adsorbato acceda a los sitios activos y un mayor número de sitios activos para las reacciones, limitando así la difusión. El volumen del biosorbente es directamente proporcional a su capacidad, que a su vez es directamente proporcional al área externa, ya que los procesos de adsorción ocurren tanto dentro como en la superficie de los poros(Tejada-Tovar et al., 2019).

2.2.4.3.2.-A**dsorbato y Adsorbente**

Dentro de estos destacan las propiedades químicas y físicas, incluyendo el tamaño molecular, la solubilidad, la polaridad, la composición química y la concentración de adsorbato (Leiva, 2007). El número de espacios activos aumenta a mesura que acrecienta la concentración del adsorbente, lo que a su vez aumenta el porcentaje de eliminación del adsorbato. Como consecuencia, la relación catión/biosorbente será mayor a medida que disminuya la concentración del biosorbente, lo que llevará a que una cantidad significativa de adsorbato se retenga hasta que se alcance el equilibrio. Por el contrario, los sitios activos estarán ocupados por una mayor cantidad de adsorbato a medida que desarrolla la concentración del adsorbente. Cuando la concentración del adsorbato aumenta, la capacidad de adsorción también aumenta como resultado del gradiente de concentración del metal. Sin embargo, la eficacia de eliminación disminuye debido a la remoción(Rodriguez, 2019).

2.2.4.3.3 pH

La eficiencia de la adsorción depende del grado de ionización del adsorbato, el mismo que ve afectado por el pH del ambiente en el que se localiza (Leiva, 2007). La adsorción de cationes y aniones está significativamente influenciada por el pH de la solución, que es un parámetro que dicta la adsorción en la superficie del sorbente (Attallah et al., 2013). El efecto del pH es distinto en cada caso. En particular, a niveles bajos de pH, los iones H3O+ compiten con los iones metálicos por los sitios de intercambio en el adsorbente. Por el contrario, la concentración de iones H3O+ disminuye a medida que aumenta el pH, y los sitios en la superficie del adsorbente principalmente se transforman en formas disociadas (Dundar et al., 2008). En este sentido, la adsorción de cationes es más ventajosa dentro de un rango específico del pH de 3 a 7mientras que en aniones la adsorción se ve favorecida en un rango de 1.5 a 4 (Vega et al.,2006).

El pH de la tierra tiene un gran impacto en la cabida de adsorción y la solubilidad de los metales pesados en el suelo, estudios realizados han descubierto que la adsorción de la distribución de metales pesados en la tierra aumenta de 0 al 100% a pH bajos. En general, la capacidad de adsorber metales pesados es directamente proporcional al pH del suelo; eso, cuanto más bajo es el valor del pH, es más probable que los iones metálicos en el recurso del suelo sean fácilmente transportados y adsorbidos(Yu et al., 2023). Por el contrario en condiciones básicas los iones metálicos reemplazan a los protones para formar complejos de

hidroxometal, que en algunos casos resulta ser solubles con el Cd, Ni y Zn; mientras que con el Cr y Fe son insolubles(Ayangbenro & Babalola, 2017).

2.2.4.3.4.-Temperatura

El incremento en la temperatura interfiere en el proceso de adsorción, ya que provoca el aumento de la energía libre de Gibs, ocasionando un aumento de energía en el adsorbente y las moléculas del adsorbato lo que aumenta la difusión del adsorbato hacia el seno de la solución con una consecuente a adsorción disminuye como resultado de la presencia de moléculas adsorbidas con energías más altas, que es más factible que se desplacen fuera de la superficie del adsorbente (Pacheco Peña, 2020).

2.2.4.3.5 Tiempo de contacto

Factor importante que determina los procesos de adsorción, ya que al incrementar conforme el lapso de contacto se prolonga, la exclusión del metal se incrementa hasta alcanzar el límite de saturación del adsorbente, tras lo cual la eficiencia de remoción disminuye (Vizcaíno et al., 2017).

La capacidad de adsorción depende del tiempo de contacto entre el adsorbato y el adsorbente. No obstante, la tasa de adsorción disminuye a medida que se agotan los sitios de adsorción, y la difusión se convierte en el factor determinante, a pesar de la presencia de sitios de adsorción activos fácilmente accesibles en la superficie del adsorbente (Gupta et al., 2020). En la etapa final, se alcanza el equilibrio y no

ocurre adsorción, ya que la tasa de adsorción es igual a la tasa de desorción en equilibrio (Gobi et al., 2011).

El tiempo de contacto permite determinar el tiempo necesario para que se perfeccione durante el proceso de adsorción, la duración depende de ciertos parámetros, como la cantidad de sustancia adsorbente y la concentración del compuesto contaminante (Vergara & Francisco, 2017).

2.2.4.3.6 Presencia de otros iones.

La adsorción puede verse afectada por la presencia de otros iones, tales como fosfatos, carbonatos, sulfatos, fluoruros y silicatos, que compiten por la afinidad con el adsorbente, etc (Vizcaíno et al., 2017)**.** Diferentes iones presentes en la solución pueden ser adsorbidos por el adsorbente limitando la adsorción de los iones de interés(Pacheco Peña, 2020)**.**

2.2.4.3.7 Naturaleza de los biosorbentes.

La adsorción de los metales se puede dar como biopelículas con células microbianas libres o inmovilizadas, también puede ser alterado por tratamiento químicos (ácidos o álcalis para mejorar capacidad de biosorción)(Dodbiba et al., 2015). Sin embargo los extractos de compuestos polifenolicos permiten la estabilización y protección de las nanopartículas, además los grupos funcionales presentan alta afinidad por los metales(Méndez et al., 2020).

2.2.4.3.8 Concentración inicial

La concentración metálica en el punto de partida influye en el intercambio de masa del metal en el sistema sólido y líquida, así es que la cantidad adsorbida por la biomasa incrementara con la concentración del metal, en ese entender una alta remoción se lograra con concentraciones mínimas de metal(Dodbiba et al., 2015).

2.2.5 Capacidad de Adsorción

La cantidad de metal que el adsorbente puede adsorber en su superficie, se conoce como la capacidad de adsorción (qe), que depende del pH de la solución y de las constantes ácidas y básicas del punto isoeléctrico del adsorbente (Ale et al., 2015). La ecuación para la capacidad de adsorción (qe) es la siguiente: la cantidad de adsorbato eliminado en equilibrio y la cantidad de adsorbente utilizada en equilibrio son proporcionales (Ecuación 2).

$$qe = \frac{Co - Ce\,V}{m} \qquad \text{Ec. 2}$$

Donde:

qe= Capacidad de adsorción $mg.g^{-1}$

V = Volumen de la solución (L)

Co = Concentración inicial (mgL^{-1})

Ce =Concentración residual en el equilibrio (mgL^{-1})

m = masa del biosorvente(g)

El proceso de adsorción depende de factores como: el diseño estructural del adsorbente y sus características fisicoquímicas del soluto y del adsorbente, la temperatura, el pH, etc.

Al ser este un fenómeno de zona, la capacidad de adhesión será directamente proporcional al área del adsorbente. Para Singh et al,(2015), estos procesos poseen alta eficiencia de eliminación y son de fácil operar, siempre y cuando se lecciones correctamente los materiales utilizados para este fin como: carbón activado, óxido de hierro, y arcilla(Martínez et al., 2018).

2.2.6. Bioadsorción de metales pesados

La unión resuelta y variable de iones en la superficie del bioadsorbente es un fenómeno físico conocido como bioadsorción, en el cual el sólido se adhiere a la superficie del material orgánico (Lavado Meza & Óre Jiménez, 2016). La eliminación de metales se logra a bajo costo y con alta eficiencia, dado que permite la reutilización de biomasa lignocelulósica compuesta por 25% de lignina, 25% hemicelulosa, 35y % de celulosa y 15% (Lavado Meza & Óre Jiménez, 2016) y de otros varios catervas funcionales, incluyendo carbonilos, carboxilos, hidroxilos y grupos amino o amida, están presentes en componentes estructurales como proteínas, polisacáridos o nucleótidos. Estos grupos tienen la capacidad de formar enlaces con los iones disueltos en la solución a través de la atracción electrostática(Lavado Meza & Óre Jiménez, 2016).

La adsorción del plomo en los polifenoles implica reacciones de complejación y unión a grupos funcionales(hidroxilos, carbonilos y carboxilos) presentes en la

estructura fenólica, donde el plomo actúa como un electrófilo que se une a estos sitios nucleofílicos, mediante reacciones de intercambio iónico, adsorción superficial y a veces redox, y teniendo como factor importante el pH y la afinidad por los grupos hidroxilo del anillo bencénico y cadenas laterales formando complejos estables. La bioadsorción desarrolla mecanismos para retención o secuestro del metal, los cuales pueden evidenciarse mediante las siguientes vías:

2.2.6.1.-Mecanismos de adsorción

Procesos en el que el metal forma complejos específicos al unirse químicamente a las zonas activas en la superficie del adsorbente (Tejada Tovar et al., 2012). En este proceso los grupos OH- y COOH de los polifenoles actúan como ligando que comparten con los iones plomo formando complejos de coordinación estables.

Los grupos funcionales presentes en los taninos de la biomasa de la quinua actúan como principales sitios activos para la captura del plomo, y su intervención se da en tres procesos que se describen a continuación:

- **Desprotonación y atracción electrostática**

  Este proceso se realiza en medios de pH controlado en el rango de 4 a 6, en donde los grupos hidroxilos OH^- unidos al anillo aromático de los fenoles tienden a liberar protones H^+. Al perder estos protones, la superficie de la biomasa adquiere carga negativa, lo que origina una fuerte atracción electrostática hacia los iones de plomo que poseen carga positiva. Este proceso ocurre cuando los grupos hidroxilo (OH^-) de los fenoles liberan un

protón para capturar el ion metálico, esta reacción es común en medios con pH ligeramente ácido.

$$2(R—OH^-) + Pb^{+2} \leftrightarrow (R—O)_2\ Pb + 2\ H^+$$

Donde:

R : representa la estructura de la biomasa con presencia de polifenoles

H^+ : El aumento de estos iones en la solución explica por que el pH suele bajar durante el proceso de biosorción.

En los procesos de biosorción, el pH es el factor determinante pues se da la especiación del metal y con ello la unión de esté a la superficie de la biomasa que por estar en un medio ácido adquiere una carga negativa atrayendo al metal a su superficie, estos procesos son característicos en el rango de pH de 4 a 5. Por el contrario a pH menor a 3, existe una alta concentración de protones (H^+) que compiten agresivamente con los iones de plomo por los mismos sitios de unión(grupos fenólicos), saturándose el medio de iones hidrógeno quedándose el plomo en solución.

En medios en el que el pH es mayor a 6 el plomo comienza a reaccionar con los iones hidroxilo(OH^-) formando especies insolubles como el hidróxido de plomo $Pb(OH)_2$, logrando su precipitación física en lugar de ser adsorbido químicamente por la biomasa lo que ocasionaría distinguir el mecanismo de adsorción real.

- **Formación de complejos de superficie**

  Los compuestos fenólicos son ricos en electrones debido a sus anillos aromáticos y oxígenos, actuando como ligandos que comparten electrones

con los iones plomo, formando enlaces de coordinación o quelatos , esta unión es mas estable que una simple atracción física, permitiendo que el plomo quede atrapado en la estructura de la biomasa.

Los compuestos fenólicos de la quinua como el ácido gálico o los flavonoides presentes en los residuos de la quinua forman complejos de coordinación más estables donde el plomo se une a dos o más átomos de oxígeno del mismo grupo funcional

$$R\text{-}(OH)_2 + Pb^{+2} \rightarrow [R\text{----}O_2Pb] + 2\ H^+$$

Los grupos funcionales que interactúan con el plomo son

Grupos carboxilo (COOH), son los mas reactivos, pues al perder un protón el grupo se convierte en carboxilato -COO- y atrapa al plomo con gran fuerza.

Grupos hidroxilo (-OH), presentes en los polifenoles como la quinua facilitan la formación de complejos

- **Intercambio iónico**

Los iones plomo reemplazan cationes menos activos como el H^+ o Ca^{++} unidos a grupos cargados negativamente en la superficie del polifenol. Este proceso es altamente dependiente del pH, ya que a medida que el pH aumenta(aproximadamente hasta 5) los grupos funcionales se desprotonan facilitando la atracción electrostática y el intercambio con el plomo, es decir existe una atracción electrostática entre la superficie del polifenol que se encuentra cargado negativamente y los cationes plomo cargados positivamente.

Muchos de los compuestos fenólicos están asociados naturalmente con cationes como el Ca^{+2} o Mg^{+2}. Cuando el plomo como contaminante entra en contacto con los compuestos fenólicos de la biomasa este último libera los iones ligeros al medio y lo sustituyen por el metal pesado en sus sitios de unión.

2.2.6.2. Factores que favorecen la adsorción

Los factores que influyen en los mecanismos de adsorción son:

pH: es crucial, ya que a pH bajos el plomo compite con los iones H^+ y la protonación de los grupos OH^- reduce la adsorción; a pH altos aumenta la disponibilidad de sitios de unión e influye drásticamente en la adsorción del plomo por los compuestos fenólicos presente en la biomasa, ya que a pH bajos (ácidos) los iones de hidrogeno H^+ compiten con el plomo por los sitios de unión reduciendo la adsorción; mientras que a pH altos (neutros o ligeramente alcalinos) la superficie de la biomasa adquiere carga negativa atrayendo al plomo y aumenta su retención.

El pH influye en la adsorción del plomo con grupos fenólicos dado que:

A p H menores a 4 existe una competencia de iones, dado que los grupos COOH, $-NH_2$ se protonan(H^+) quedando cargados positivamente, lo cual genera repulsión electrostática con el catión plomo disminuyendo la capacidad de adsorción.

Por otro lado, el plomo a pH menores a 4 permanece soluble en formas iónicas en la solución ácida pero dado la protonación de los grupos funcionales no se

unen eficazmente.

En este sentido, el pH optimo de adsorción es mayor a 4, pues se da mayor retención, ya que la competencia de iones H+ disminuye y la superficie de la biomasa gana carga negativa favoreciendo la adsorción del plomo.

Temperatura: afecta los procesos de fisisorción siendo este proceso favorecido a temperaturas bajas.

Estructura del Polifenol: la cantidad y tipo de grupos funcionales (hidroxilo, ácidos carboxílicos) y la presencia de anillos aromáticos determinan la capacidad de adsorción.

El mecanismo de adsorción implica que el plomo se acerque a la superficie del polifenol y interactúe con los sitios más afines(OH y COOH) ocupando estos puntos activos**;** luego forma multicapas por fuerzas secundarias o mediante complejos mas estables, estabilizando al metal en la matriz del polifenol

Los grupos hidroxilo (OH^-) presente en los compuestos fenólicos son sitios de unión para el plomo, ya que a pH de 4 o 5 los grupos fenólicos se desprotonan y facilitan la unión por intercambio iónico o complejación atrapando al plomo. En los procesos de adsorción los grupos funcionales son esenciales y su estado de especiación controlado por el pH determinan la eficiencia del proceso.

Los compuestos fenólicos se desprotonan en el rango de pH de 4 a 5, ello significa que por encima de estos valores los grupos fenólicos pierden protones(H^+) adquiriendo carga negativa lo cual hace que estos atraigan

electrostáticamente a los iones plomo que poseen carga negativa.

Protonación

En medios con alta concentración de iones de hidrogeno H+ los grupos funcionales de los compuestos fenólicos se saturan de protones-

En el proceso los electrones de los grupos fenólicos atraen a los protónes libres, manteniendo el grupo en su forma neutra R-OH o incluso cargándose positivamente en medios fuertemente ácidos.

En estos medios se genera una repulsión electrostática entre los grupos fenólicos y los iones plomo. Además, los protones compiten físicamente por los pocos sitios de unión disponibles impidiendo que el plomo se adhiera.

Desprotonación, a medida que el pH aumenta la concentración de iones hidrogeno disminuye lo que favorece la liberación de los protones de la estructura de la biomasa.

En el proceso el grupo fenólico libera su protón al medio transformándose a ion fenoxido con carga negativa R---$O^{-\cdot}$

En cuanto al plomo, la superficie de la biomasa adquiere una carga neta negativa, esta carga atrae fuertemente a los iones a los cationes de plomo mediante atracción electrostática e intercambio iónico.

2.2.7 Biomateriales

Los biomateriales son derivados incluyendo flora microbiana, algas, plantas, biomasa residual, productos agroindustriales y biopolímeros específicos que

pueden adsorber el metal en su forma iónica de una solución. La interacción de estos biomateriales, se debe básicamente a los grupos funcionales que esto contienen en su estructura, dentro d ellos que destacan los grupos carboxilo, amino, tiol, hidroxilo, fosfato e hidroxicarboxilo (Garcia, G.;Shakai, G.;Pupiales, S.;Jácome, 2022). En la tabla 8 y 9 se observan las funciones químicas más comunes que participan en la bioadsorción.

Las características fundamentales que diferencian un adsorbente incluyen una gran superficie de contacto, sitios activos específicos y alta porosidad eficaz. Estos atributos facilitan el establecimiento de interacciones robustas entre el biosorbente y los iones metálicos, lo que a su vez determina las posibles modificaciones químicas o físicas que podrían mejorar la capacidad de adsorción del biomaterial(Duany et al., 2022).

Tabla 8

Materiales bioadsorbentes y alguno de sus componentes que atrapan a los metales pesados

Biosorbentes	Componentes que atrapan a los metales pesados
Cascara de mandarina	Lignina, celulosa,eter,OH-,NH,amida, alcano.alqueno.alquino
Zea mays(tusa)	Alquilo,oH alcohol,eter,celulosa,lignina
Cáscara de cacao	Celulosa,hemicelulos,lignocelulosa
Moringa	Aminoacidos como Asp,Glu,His,Arg,Lis.
Cascara de huevo	OH-, amidas,amina secundaria, ácidos carboxilicos,aldehidos,compuestos carbonatados,amina terciaria,nitrilos
Cáscara de tamarindo	Grupos Carboxilo
Cascara de naranja	Grupos Carboxilo
Bagazo de caña de azúcar	C-N,alquilo,OH o -NH,alcohol,eter,celulosa,lignina
Borra de café	Taninos,polialginatos,peptidoglucanos,polisacaridos,glicoproteinas,compuestos heterociclicos,flavonoides,acidos clorogénicos
Cascara de yuca	OH,o -NH, alquilo,alcohol,éter,celulosa,lignina.

Nota: Biomoléculas presentes en la biomasa de algunos materiales(Vergara & Francisco, 2017)

Tabla 9

Grupos funcionales involucrados en la bioadsorción

Grupo Funcional	Formula estructural	pka	Clasificación HSAB	Átomo ligante	Moléculas que lo contienen
Hidroxilo	R-OH	9.5-13	HB	O	PS,SPS,AA,CH
Carbonilo(cetonas)	RR´>C=O	-	HB	O	PS,PP
Carboxilo	R-COOH	1.7-4.77	HB	O	AA, FA,PT,AO
Sulfhidrilo(tiol)	R-SH	8.3-10.8	HB	S	AA,PT
Ester	R-COOR´	-	HB	O	LP
Amino		8-11	HB	N	AA
Fosfonato		6.1-6.8	HB	O	PL

PS=Polisacáridos; SPS=Sulfatos; AAA=Aminoácidos; PL=Fosfolipidos;FA=Ácidos grasos;CH=Carbohidratos;PT=Proteínas; LP=Lípidos; AO=Ácidos orgánicos;PP=Peptidos;HBBase dura; SB=base blanda

Nota: Biomateriales con grupos funcionales involucrados en la adsorción (Garcia, G.;Shakai, G.;Pupiales, S.;Jácome, 2022)

2.3. Marco Conceptual

Adsorción

Corresponde a un fenómeno de interacción superficial en donde los átomos y moléculas se concentran en la capa interfacial de las partículas del suelo mediante mecanismos de quimiosorción y fisiosorción(Obregón, 2012).

Adsorbato

Es el material atrapado en la superficie de un adsorbente (Duany et al., 2022).

Adsorbente

Es un recurso empleado para de retener al adsorbato en su superficie, y su capacidad estará determinada por el área superficial suficientemente grande(Duany et al., 2022).

pH

Parámetro que afecta la solubilidad de los iones metálicos y las regiones de unión. A pH bajos la adsorción de metales se ve afectada, siendo el rango optimo entre 2.5 a 6 (Dodbiba et al., 2015).

Temperatura

La temperatura afecta la adsorción del adsorbato en el adsorbente, ya que a bajas temperaturas la densidad del efluente incrementa originando movilidad lenta en los iones metálicos, favoreciendo un mayor tiempo de contacto para asegurar la eficiencia del procedimiento (Garcia, G.;Shakai, G.;Pupiales, S.;Jácome, 2022).

Polifenoles

Los polifenoles son metabolitos secundarios que presentan estructuras simples hasta complejas y están presentes en las plantas verdes y sus residuos se emplean para biorremediar suelos contaminados por quelación de metales(Karuppusamy et al., 2018).

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Lugar de estudio

La ubicación de la tesis corresponde al suroeste del departamento de Puno, dentro del distrito de Tiquillaca, en el Centro Poblado Sunsori, comunidad de Paxa, con una altitud de 3.920 msnm (Figura 5).

Figura 5

Ubicación de lugar de estudio



Nota: (Fernandez Ochoa et al., 2022)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

3.2. Enfoque de la investigación

La metodología de la investigación es cuantitativa, porque busca resolver problemas y/o producir conocimiento.

3.3. Métodos aplicados a la investigación

En la investigación se aplica el método lógico-deductivo, el mismo que supone la aplicación de principios universales a circunstancias particulares, a partir de ciertas conexiones lógicas entre juicios.

3.4. Tipo de Investigación

El actual estudio corresponde a un enfoque experimental, donde el investigador tiene el control sobre la manipulación de los factores (en tres niveles) que intervienen en el proceso.

3.5. Nivel de Investigación

Según el nivel de investigación, el estudio será:

3.5.1. Descriptivo

El estudio será descriptivo por que recogerá información de manera independiente de las variables en estudio (Sampieri et al., 2006), tal es la cuestión de la capacidad de adsorción de *Chenopodium quinoae* sobre el plomo.

3.5.2. Correlacional

El objetivo de análisis de este estudio es comprender la interacción entre diversas variables en un contexto concreto (Sampieri et al., 2006). El estudio será correlacional porque evaluará la cómo afecta el pH y la temperatura a capacidad de adsorción.

3.5.3. Explicativo

Porque establece las causas de los sucesos y/o fenómenos que se investigan (Sampieriet al.,2006); en tal caso evaluara la relación entre el pH y la temperatura con la adsorción del Pb por la *Chenopodium quinoae.*

3.6. Diseño de Investigación

El diseño experimental robusto es aplicado para determinar el efecto del pH y la temperatura en la capacidad de adsorción, para este tipo de estudio se hace uso de un diseño factorial, el cual permitió ver no solo como afecta cada variable por separado, sino también si existe una interacción significativa entre ellas.

El tipo de diseño, fue el factorial 3^2 (dos factores, tres niveles), el número de tratamientos : 9 combinaciones únicas, donde se recomendó realizar cada tratamiento por triplicado para calcular el error experimental y la desviación estándar. En base a lo anterior se tuvieron 27 unidades experimentales

Tabla 10

Matriz Experimental

Tratamiento	Factor A: pH	Factor B: Temperatura (∘C)	Capacidad de adsorción
T1	2	15	
T2	2	30	
T3	2	45	
T4	4	15	
T5	4	30	
T6	4	45	
T7	6	15	
T8	6	30	
T9	6	45	
T10	2	15	
T11	2	30	
T12	2	45	
T13	4	15	
T14	4	30	
T15	4	45	
T16	6	15	
T17	6	30	
T18	6	45	
T19	2	15	
T20	2	30	
T21	2	45	
T22	4	15	
T23	4	30	
T24	4	45	
T25	6	15	
T26	6	30	
T27	6	45	

3.7. Población y muestra

3.7.1. Población

La localidad en estudio fue el suelo agrícola del distrito de Tiquillaca situado al sur oeste del departamento de Puno, en la comunidad de Paxa, Centro Poblado Sonsori a 3.920 metros sobre el nivel del mar.

3.7.2 Muestra

Las muestras estuvo conformada por suelo agrícola proveniente proveniente de las laderas de la quebrada Paxa, donde se observa indicios de contaminación minera. El muestreo aplicado fue el de juicio de expertos, para la toma de muestras se definieron 5 puntos de muestreo dentro de 1 hectárea. La recolección de suelo agrícola se realizó a 30 cm de profundidad, recolectando 1 Kg de suelo dispuestas en bolsas de polietileno rotuladas indicando: fecha, hora, nombre y codificación específica de la muestra y transportadas a los laboratorios LAVINVSERV de la UNSA para cuantificación de plomo por el método ICP-MS (espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado).

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.8.1. Técnicas de investigación

La técnica aplicada fue la observación, siendo está una forma indispensable para recolectar los datos cuantitativos en la evaluación de la capacidad de adsorción de plomo con bioadsorbente de biomasa de quinua.

3.8.2. Instrumentos de investigación

Los recursos empleados para la obtención de datos se tomaron de acuerdo a los objetivos planteados.

- Estándares de Calidad Ambiental para suelo, aprobado por el D.S. N°011- 2017-MINAM.
- Guía para el muestreo de suelos D.S. N°002-2013-MINAM

3.8.3. Metodología

Materiales

Probetas de 100 mL, crisoles de 50 mL, matraces Erlenmeyer de 500 mL, vasos de precipitado de 500 mL, pipetas de 5 y 10 mL, fiolas de 250 mL, vidrio de reloj, pera dedecantación de 500 mL, mortero, espátulas, papel filtro Whatman 40, soportes universales, embudos, tamices eléctricos, varilla, termómetro de mercurio, tubos de ensayo, soporte universal.

Equipos

Agitadores magnéticos, tamizador eléctrico, estufa, centrifugadora de 10000 rpm, manta calefactora, agitador magnético de 250rpm, balanza electrónica de 0.01 g de precisión, potenciómetro, cámara fotográfica, pH metro, dispositivo de emisión atómica por espectroscopia con plasma formado por acoplamiento inductivo.

Reactivos

Ácido clorhídrico (HCl, 37%), ácido nítrico (HNO_3,70%), Cloruro férrico, nitrato de plomo Q.P, agua destilada, ácido gálico Q.P, carbonato de sodio Q.P, Etanol, acetona.

3.8.4. Procedimiento

Caracterización del contenido de compuestos polifenolicos de la *Chenopodium quinoa*e.

Para la preparación del adsorbente de hojas de quinua se aplicó la metodología propuesta por Gutierrez & Ibañez (2020), la cual consistió en:

Recolectar las hojas de quinua de las orillas del lago Titicaca en el distrito de Capachica, esta zona no presenta indicios de contaminación; se procedió con el lavado de las hojas con abundante agua destilada, luego se procedió a cortar con un bisturí los tallos y se colocaron en las cápsulas de porcelana para llevarlos a la estufa a una temperatura de 60 °C, durante 24 horas, posterior a ello se realizó la trituración de las muestras con un mortero de porcelana y clasificadas en tamizador marca ROTAP hasta malla estándar N° 200 µm. Finalmente el material pulverizado fueron colocadas en bolsas herméticas previamente rotuladas para su transporte hasta el método de Folin-Ciocalteu se emplea en los laboratorios de calidad de la Universidad Católica Santa María para determinar compuestos fenólicos. Este método genera un complejo coloreado de molibdeno-tungsteno en un medio alcalino como resultado de la oxidación de compuestos polifenólicos a fenolatos (Luisetti et al., 2020). De manera similar, se transportaron 250 g de la muestra de hojas de quinua a los laboratorios de Investigación y Servicios de la UNSA para la detección de grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier en la región de 650 cm^{-1} a 4000 cm^{-1}.

Determinación de la influencia del pH y temperatura en la capacidad de adsorción de plomo con *Chenopodium quinoa*e en suelo.

Preparación de solución sintética de Pb

El protocolo para determinar la retención de plomo en el suelo mediante adsorción fue el desarrollado por Chamorro & Sánchez Andica(2013), la cual se detalla a continuación:

Se peso 50 g de suelo libre de contaminación de plomo y se colocó en un matraz erlermeyer de laboratorio de 500 ml, se adiciono 10 ml de solución de nitrato de plomo (II) a concentraciones de 20 mg/L(ello con la finalidad de contar con una concentración inicial de plomo en el suelo). Posteriormente se mezcló homogéneamente y se dejó reposando durante 24 horas para completa adsorción, seguidamente se prepararon los 9 tratamientos experimentales y sus replicas, para lo cual se tomaron 2 g de suelo contaminado sintéticamente y se colocó en matraz Erlenmeyer de 250 mL, se adiciono 50 mL de agua destilada, se añadió 2g/L de adsorbente(hojas de quinua) y se procedió a homogenizar los tratamientos para lo cual los erlenmeyer fuerón colocado en agitador de marca AGIMATEC a 170 rpm, durante á de 30 minutos(el tiempo es tomado por diversos autores para garantizar procesos de adsorción del plomo por la biomasa residual). El pH y temperatura de los tratamientos fueron ajustados según matriz experimental(tabla 10), para el caso del pH las soluciones se ajustaron con solución de HNO_3 y/o NaOH 0.01 M.

Efecto del pH

Para valorar el efecto del pH, las soluciones antes preparadas fueron ajustadasa pH=2, 4 y 6 con soluciones de HCl y NaOH 0.01 M, transcurrido el tiempo de agitación(30 minutos) las muestras fueron filtradas en papel Whatman, el líquido sobrenadante será dispuesto en tubos falcón de 50 mL, conservadas con HNO_3 (preservante) y rotuladas hasta suderivación a los laboratorios de LAVINVSERV de

la UNSA para cuantificación del contenido de plomo por el método ICP-MS (espectroscopio de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado).

Efecto de la temperatura

El papel de la relación entre la temperatura y la eficiencia de adsorción del plomo fue dispuestos según diseño experimental observado en la tabla 10 y el procedimiento para la cuantificación de plomo se desarrollará por el método ICP-MS(espectroscopio de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado).

La cuantía de Pb adsorbida se determinó en base a la diferencia de concentración en la solución antes y después de la sorción, según el balance de masa que se muestra en la siguiente ecuación:

$$qe = \left(\frac{Co - Ce}{m}\right)V$$

Donde

qe = Concentración de metal absorbido (mg/g)

Co = Concentración inicial de metal (mg/L)

Ce = Concentración de equilibrio en el tiempo t (mg/L)

V = Volumen de solución (L)

m = masa de suelo

Determinación del porcentaje de adsorción del Pb con *Chenopodium quinoae* en suelos agrícolas contaminados por residuos mineros de Tiquillaca.

Se realizó el muestreo en terrenos de cultivo del distrito de Tiquillaca con indicios de contaminación con residuos mineros,mediante un muestreo sistemático, se obtuvieron submuestras a 30 cm de hondonada, que luego fueron desecadas a temperatura ambiente, trituradas y pasadas por una malla de 2 mm.. Se tomaron 250g de muestra de suelo y se envasaron en bolsas de polietileno con adición de solución de ácido nítrico al 1%, siendo transportado hacia los laboratorio LAVINSER para la cuantificación de Plomo total por el método ICP-MS(espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado).

Para establecer la capacidad de adsorción de plomo con hojas de quinua en suelo agrícola se pesó 2 g de suelo a proveniente de Tiquillaca(concentración conocida) Luego, se depositó en un vaso de precipitados de 500 ml, se adiciono 50 ml de agua ultrapura y 2g/L de adsorbente(hojas de quinua). Los parámetros p H y temperatura fueron ajustados según los valores óptimos obtenidos del diseño experimental. La experimentación conto con variables fijas como velocidad de agitación (170 rpm) realizado en agitador de marca AGIMATEC y el tiempo de agitación el cual fue de 30 minutos. La suspensión fue filtrada a través de papel Whatman N° 40(Sánchez, Subero & Rivero, 2011), el sobrenadante fue envasado en tubos falcón de 50 ml de capacidad, conservada con ácido nítrico al 1% y rotulada para su transporte a LAVINSER para determinación de plomo total por el método ICP-MS(espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado). El porcentaje de adsorción fue determinada mediante la ecuación 2:

$$\%Ads = \frac{C_i - C_e}{C_i} 100$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_e = Concentración en el equilibrio

% Ads= Porcentaje de adsorción

3.9. Procedimiento de tratamiento de datos

La información fue analizada utilizando técnicas de estadística descriptiva mediante el software SPSS, el cual permitirá presentar el análisis y la interpretación de las interacciones(Gutierrez & Salazar,2008). Además se realizó un análisis de varianza ANOVA.

Tabla 11

Análisis de varianza para el modelo ANOVA

Fuente de variabilidad	**Suma de cuadrados**	**GL**	**Cuadrado medio**	**Fo**	**Valor-P**
Tratamiento	SC_{TRAT}	K-1	$CM_{TRAT}=\frac{SC_{TRAT}}{K-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F>Fo)
Error	SC_E	N-k	$CM_E=\frac{SC_E}{N-K}$		
Total	SC_T	N-1			

3.10. Diseño de contrastación de la hipótesis

Hipótesis

H0: El pH, temperatura y sus interacciones influyen en la potencial de adsorción

del plomo *con hojas de quinua* en suelos contaminados.

H01: El pH, temperatura y sus interacciones no influyen en el porcentaje de adsorción de plomo *con hojas de quinua* en suelos contaminados.

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

4.1. Presentación, análisis e interpretación de los datos

Caracterización de compuestos fenólicos en las hojas de quinua

La caracterización de compuestos fenólicos fueron realizados en el laboratorio de ensayo y control de calidad de la Universidad Católica de Santa María-Arequipa, los resultados indican que la muestra contenía 40 mg de ácido tánico/100g de muestra hojas secas, además se identificó los compuestos funcionales presentes en la muestra mediante el método Espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, equipo de marca Perkin Elmer, modelo Frontier FTIR/NIR, el método fue ASTM E1252-98.

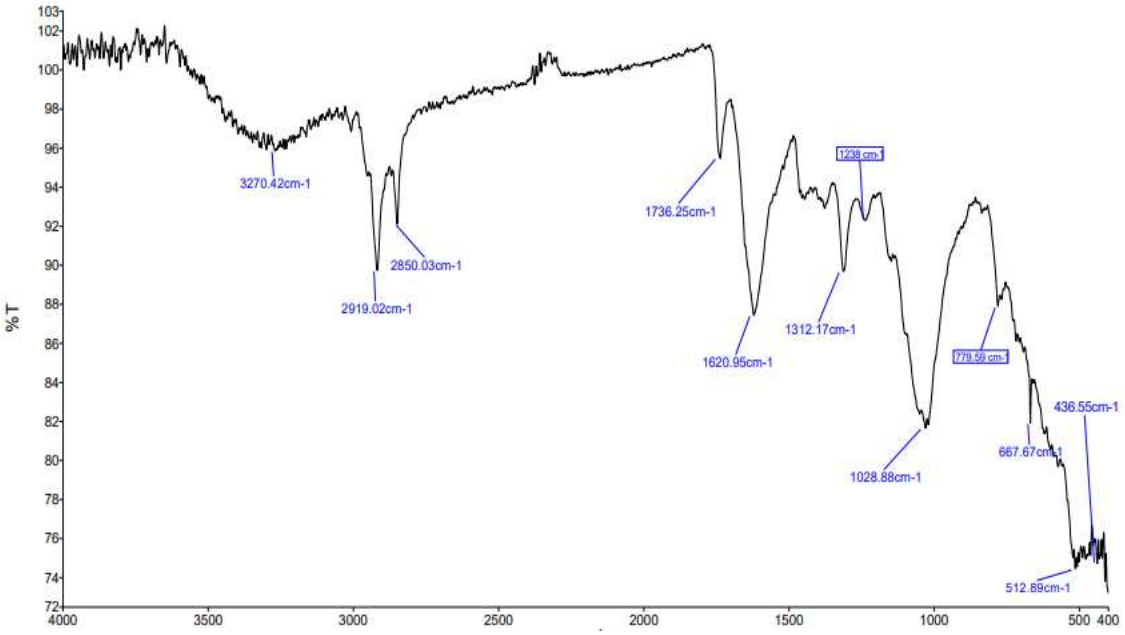
Los resultados se exponen en la figura 6, donde se observan estiramiento de vibración O-H (hidroxilo) con picos ubicados en el rango de 3270.42 cm^{-1} este grupo funcional proviene específicamente de la celulosa, lignina y crucialmente de los fenoles del ácido tánico. La banda es muy importante, ya que los hidrógenos de estos grupos pueden formar puentes de hidrógeno o ser desplazados por el plomo mediante mecanismos de quelación a pH=2. De la misma forma se observa estiramiento asimétrico y simétrico del C-H(grupos CH_2- y CH_3) en los picos de

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

2919.02cm^{-1} y 2850.03cm^{-1} provenientes de las cadenas de la celulosa y hemicelulosa , así como ceras o lípidos de la quinua, si bien es ciertos estas cadenas no participan directamente en la adsorción de metales, pero si confirman la naturaleza orgánica del adsorbente. Ante estos resultados X. H. Liu et al.,(2012) sugieren que los grupos funcionales indican la presencia de una diversa gama biomoléculas como son alcoholes, aminas, lípidos y compuestos fenólicos, compuestos heteroaromáticos(piridinas, pirazinas, pirroles, furanos y tiofeno).

Figura 6

Grupos funcionales identificados por el método FTIR antes de la sorción



En la región con pico de 1736.25 cm^{-1} se observa estiramiento C=O del grupo carbonilo proveniente de esteres presentes en la hemicelulosa y ácidos carboxílicos, este último esta protonado resultando ser un sitio muy activo para la interacción del

plomo y los oxígenos. En el pico de 1620.95 cm^{-1} se observa vibración del esqueleto aromático C=C proveniente de anillos de lignina y taninos los mismos que contribuyen a estabilizar el complejo con el plomo. Además vibraciones de estiramiento en el pico de 1028.88cm^{-1} es señal clásica de los polisacáridos (celulosa/hemicelulosa) y lignina(enlaces C-O-C y-O-H) y son los átomos de oxígeno presentes en estos grupos funcionales con los que el plomo se uniría.

Además las bandas de absorción de 1028.88 cm^{-1} son referidas a las vibraciones C-OH y C-O-C de las proteínas presentes en las hojas de quinua(Radini et al., 2018). En cuanto a los picos pequeños comprendidos dentro del límite de 779.69 cm^{-1} a 436.55 cm^{-1} serían las vibraciones del Fe y Zn presente en las hojas de quinua ya que Campos-Rodriguez et al.,(2022) refiere concentraciones de 483 mg de Fe y 204.0 mg de Zn.

De lo anterior se puede aducir que la biomasa de quinua es rica en grupos oxigenados, que aunque a pH=2 estén protonados la presencia de estos picos confirman la abundancia de sitios con pares de electrones libres(oxígeno) disponibles para intentar la quelación con el plomo.

Por otro lado, en la figura 7 se aprecian picos de adsorción, donde muestran la manifestación de grupos funcionales. adsorbidos en la superficie del material, tales como amino, hidroxilo y carbonilo, todos ellos con posibilidad de interactuar con los iones plomo. Después de la adsorción muchos grupos funcionales cambiaron ligeramente de posición y de numero de onda, lo cual puede ser una confirmación de la interacción física o química con el ion plomo(Nur Fatin Adlina Mohd Fouzi &

Al., 2018). El espectro FTIR mostro desplazamiento de 3270 a 3413.16cm^{-1} después de la sorción lo cual indica que los grupos OH presentes en la biomasa están unidos entre si por puentes de hidrógeno (picos anchos a frecuencias bajas).Al entrar el plomo este rompe esos puentes de hidrógeno para colocarse él, en otras palabras el plomo altero el entorno de los hidrógenos de los fenoles.

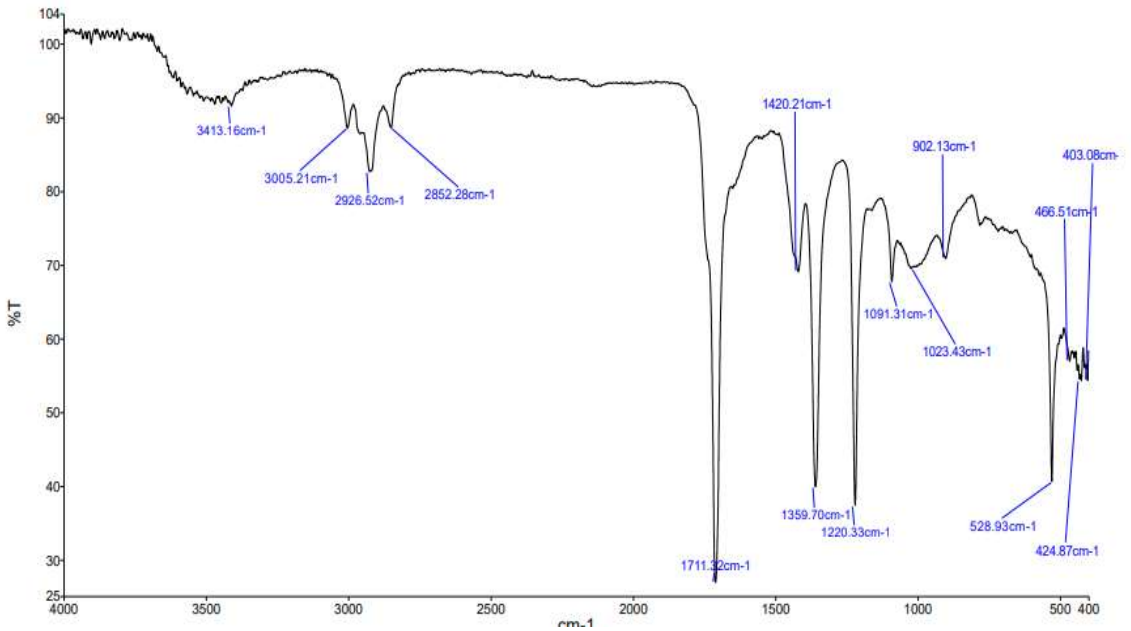
Por otro, lado se observa también el cambio en el pico ubicado en 1736cm^{-1}, el cual disminuyo de longitud de onda hasta 1711cm^{-1} siendo este último característico del estiramiento de C=O de ácidos carboxílicos protonados (-COOH). El estiramiento se dio a pH=2, en estas condiciones los grupos de ácido polifenoles conservan su hidrógeno, es decir están protonados, al estar protonados y al no tener carga la biomasa, se sobre entiende que esta al estado sólido facilitando la adsorción del plomo en su superficie.

Por otro lado, también se observa picos que oscilaban entre el rango de 1690–1760 cm $^{-1}$ sugiriendo la presencia del grupo C – O, mientras que los picos en el rango de 1200-1220 cm^{-1} podría deberse a los grupos CO y OH en ácidos carboxilo COOH, de la misma forma los picos de absorbancia en 1050-1300 cm $^{-1}$ podría deberse a la presencia del grupo C – O en la superficie. El FTIR de hojas de quinua después de la sorción muestran incremento en los picos de estiramiento formándose uno nuevo en 466.5 cm^{-1} , lo que sugiere la interacción química de los compuestos funcionales de la hoja de quinua con los iones plomo (Ibrahim et al., 2010) en el suelo. Los resultados son coincidentes con lo informado por Elkhaleefa et al., (2021), quienes reportaron vibraciones de estiramiento de Pb a 462 cm^{-1} a

403.06 cm^{-1} confirmando con ello la adherencia de Pb en la superficie del adsorbente. Según el análisis realizado se podría decir que los grupos reactivos que toman parte en la adsorción de Pb en las hojas de quinua son grupos oxidrilo, carbonilo y carboxilo que están protonados a pH=2 favoreciendo la adsorsión del metal en la superficie..

Figura 7

Grupos funcionales de las hojas de quinua identificados por FTIR después de la sorción



Determinación de la influencia del pH y temperatura en la capacidad de adsorción de plomo con *Chenopodium quinoa*e en suelo

Pruebas de adsorción

Los resultados de la cantidad de plomo después de la sorción y el aforo de adsorción en los 9 tratamiento y sus réplicas se observan en la tabla 12.

Tabla 12

Resultados de la concentración de plomo después de la adsorción con las hojas de Chenopodium quinoae

N°	Concentración de Pb(ppb)			Capacidad de adsorción			Promedio	Porcentaje de adsorción			Promedio % adsorción
Exp	R1	R2	R3	R1	R2	R3		R1	R2	R3	
1	0.289	0.301	0.291	3.942	3.939	3.942	3.941	98.555	98.495	98.543	98.531
2	0.556	0.550	0.554	3.889	3.889	3.889	3.889	97.218	97.248	97.228	97.232
3	0.509	0.521	0.511	3.899	3.896	3.898	3.897	97.454	97.391	97.445	97.430
4	0.324	0.329	0.339	3.935	3.934	3.932	3.933	98.375	98.356	98.303	98.345
5	0.528	0.532	0.305	3.894	3.894	3.939	3.908	97.358	97.340	98.473	97.724
6	0.565	0.572	0.275	3.887	3.884	3.945	3.905	97.174	97.141	98.626	97.647
7	0.346	0.340	0.379	3.931	3.932	3.924	3.929	98.268	98.298	98.101	98.223
8	0.588	0.590	0.175	3.882	3.882	3.965	3.909	97.058	97.047	99.126	97.744
9	0.583	0.589	0.403	3.883	3.882	3.919	3.895	97.082	97.052	97.989	97.373

La tabla muestra las concentraciones de plomo obtenidas después de haber sometido la muestra al adsorbente de hojas de quinua a pH =2, 4, y 6 y temperaturas 15°C, 30°C y 45°C, cabe notar que la cantidad inicial de plomo fue de 20 mg/L y la cantidad de adsorbente empleado fue de 2g/L. Los resultados muestras que después de 30 minutos de agitación la concentración de plomo en los tratamientos disminuyeron logrando porcentajes de adsorción del 98 % en pH=2 y 97% a pH= 4 y 6 con ligeras variaciones y a temperaturas en el rango de 15 y 45°C. Los resultados de la investigación actual difieren con los reportados por Nur Fatin Adlina Mohd Fouzi, et., (2018) quienes aducen que la cantidad de plomo adsorbido disminuye a pH= 2, y por el contrario la adsorción de la cantidad de plomo

es máxima a pH=5, ello debido a que el plomo en medios muy ácidos compite con radicales H_3O^+ por el sitio de adsorción, por el contrario cuando el pH aumentó, el efecto competitivo del H_3O^+ disminuyó revelándose que los iones plomo se adsorben fácilmente en los sitios de adsorción, lo mismo refiere Sud et al., (2008) quienes reportaron 98% de adsorción a pH en el rango de 5 a 6.

4.2. Determinación de la capacidad de adsorción del Pb con hojas de quinua en suelos en suelos agrícolas contaminados con residuos mineros

El enfoque metodológico requirió la extracción de tres muestras de suelo de las cercanías de la quebrada Paxa, que es el lugar de descarga de los residuos mineros. El procedimiento ICP-MS (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) se empleó para evaluar la concentración total de plomo en las muestras los resultados mostraron elevadas concentraciones de plomo en el suelo agrícola, los mismos que exceden a la concentración dadas por los parámetros de calidad ambiental, lo que demuestra que la presencia de plomo se origina a partir de fuentes antropogénicas(X. Liu et al., 2021). Estos resultados son observados en la tabla 13.

Tabla 13

Resultado de las concentraciones de Plomo en suelo agrícola de Tiquillaca.

N°	CÓDIGO	Concentración de Pb(mg/kg)		
		R1	R2	R3
1	suelo	1135.3	1132.2	1152.822

En la tabla 13 se presentan cantidades de plomo en suelos que asciende a 1152.822 mg/kg valor que excede a los Estandares de Calidad Ambiental ECAs donde instituyecantidades maximas de 70 mg/kg. Ante lo cual se puede decir que la contaminación por residuos mineros resulta ser un problema recurrente para las tierras de cultivo ya que estos representan una fuente importante de contaminantes polimetalicos que son dispersados a los alrrededores por viento y escurrimiento(Doumas et al., 2018).

Tabla 14

Resultado de la capacidad de adsorción de Plomo en suelo agrícola con hojas Chenopodium quinoae

N°	CÓDIGO	Concentración final de Pb mg/Kg	Qe mg/g	% de adsorción
1	M1	0.602	226.942	99.947
2	M2	0.071	226.428	99.994
3	M3	0.071	230.550	99.994

En la tabla 14 se muestran las mediciones de la capacidad y porcentaje de adsorción de plomo en los tres tratamientos en los que se añadio las hojas de quinua como adsorbente, en ella se muestran concentraciones minimas de plomo con porcentaje de adsorción del 99.99% el suelo agricola y capacidaddes de adsorción de 226.94 a 230.550 mg/g, ifiriendo de ello que las hojas de quinua poseen alta capacidad y porcentaje de adsorción, ello debido a la presencia de compuestos polifenolicos

presentes en su estructura, los mismos que estarian adsorbiendo al metal en estudio.

El porcentaje de adsorcion observado del 99.994% en el suelo orgánico evaluado se deberia a la biomasa de Chenopodium quinoae evaluada, pero tambien a la presencia de sulfatos contenidos en los relaves mineros que contaminarón el suelo en estudio, la presencia de sulfato podria deberse a la pirita presente en los relaves mineros, ya que la el relave son los residuos producidos por la industria polimetalica donde el principal componente es la pirita. La pirita en presencia de oxígeno y agua se oxida a sulfato ferroso y ferrico, este puede estar reaccionando con el plomo formando sulfato de plomo en pH acido. La reacción seria la siguiente:

$$Pb^{+2}{}_{(aq)} + SO_4{}^{-2}{}_{(aq)} \ldots\ldots PbSO_{4(s)}$$

4.3. Proceso de la prueba de hipótesis

Los resultados de la presente investigación presentan altos porcentajes de adsorción en el rango de pH y temperaturas evaluadas, por lo se hace necesario evaluar su significancia, la misma que se muestra en la tabla 13 y de ella se predice la no significancia de las variables antes mencionadas ni de sus interacción sobre el porcentaje de adsorción se observan en la tabla 13 y figura 8, en la primera los p-valores para el pH (p-valor 0.649), temperatura (p-valor 0.717) y sus interacciones (p-valor 0.9141) son mayores que 0.05, lo cual indica que estas variables no son significativas para la capacidad y porcentaje de adsorción del plomo (Pb) con lo cual se aceptaría la hipótesis alterna.

Además el análisis de varianza ANOVA realizado para evaluar el efecto del pH y la temperatura sobre la adsorción de plomo aplicando hojas de quinua mostró que el modelo estadístico propuesto no presenta una significancia estadística($p=0.649, F=0.75$), específicamente los valores de probabilidad obtenidos para el pH($p=0.141$), la temperatura($p=0.717$) y su interacción($p=0.914$) superan los niveles de significancia establecido($\alpha=0.05$).

En conclusión, los resultados indican que, dentro de los rangos experimentales evaluados, la variación en el porcentaje de adsorción no puede atribuirse linealmente a los cambios en el pH o la temperatura. Estadísticamente la variabilidad observada se debe mayoritariamente a factores aleatorios no controlados, tal como lo evidencia la suma de cuadrados del modelo (0.0049), esto sugiere una alta varianza residual que enmascara los posibles efectos de los tratamientos.

Tabla 14

Análisis de Varianza ANOVA

F,V,	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.9E-03	8	6.2E-04	0.75	0.649
pH	3.6E-03	2	1.8E-03	2.19	0.141
T°	5.6E-04	2	2.8E-04	0.34	0.717
pH*T°	7.8E-04	4	1.9E-04	0.24	0914
Error	0.01	18	8.2E-04		
Total	0.02	26			

En cuanto al efecto del pH, a pesar que literatura científica reporte que este parámetro es un factor determinante en el proceso de adsorción de metales pesados debido a la protonación y desprotonación de los grupos funcionales de las hojas de quinua, en este estudio no se encontró un efecto significativo. En ese sentido, los altos porcentajes de adsorción a pH=2 podrían explicarse por la naturaleza anfótera de los grupos funcionales presente en las hojas de quinua(grupos carboxilo, amino o hidróxilo), la carga superficial del biosorbente(pH=2) se mantenga relativamente estable o que la especiación química del plomo no sufra alteraciones drásticas que afecten su afinidad por la biomasa(pH=4 y 6).

En cuanto a lo anterior, evidencia científica manifiesta que los altos porcentajes de adsorción a pH=2 se debería a la presencia de grupos oxidrilos(-OH) y carboxilo (-COOH) identificados mediante FTIR en la biomasa de la quinua pues presentaron picos de 3270 cm^{-1} característico de los radicales presentes en los compuestos fenólicos, así también el FTIR indica estiramientos en el pico con longitud de onda de 3413 cm^{-1}valor que evidencia el desarrollo de una reacción química fuerte lo cual estaría mejorando la eficiencia de adsorción. Por otro lado se ha de considerar que a pH=2 los grupos funcionales antes mencionados están protonados unidos mediante enlaces puente de hidrógeno formando una estructura amarrada que produce un pico ancho en 3270cm^{-1}. Estas estructura en presencia del plomo se sueltan y es allí donde el plomo ingresa para enlazarse con el oxígeno formando un complejo-metal, esta interacción desplaza el pico a 3413cm^{-1}lo cual es observado

en la figura 7. El desplazamiento observado de 3210 cm^{-1} a 3413 cm^{-1} es indicativo que no se dio una simple unión superficial, sino mas bien hubo una interacción química especifica entre el plomo y los grupos -OH y -COOH.

Por otro lado, se ha de considerar que ha pH=2 **la biomasa de la quinua es estable** y por lo tanto es insoluble lo que facilita que los grupos funcionales presentes en ella reacciones con el plomo y quede adsorbido.

La adsorción del plomo en los compuestos polifenolicos no es simplemente una adsorción física, sino más bien una adsorción química ya que el plomo actúa como un ácido de Lewis(busca electrones) y los oxígenos de los polifenoles son bases de Lewis(tienen pares de electrones libres) dándose una fuerte atracción química entre ellos. En estas condiciones, el plomo se mete en la estructura de la hoja de quinua y es atrapado por varios oxígenos a la vez(quelación) formando un anillo estable. Como el polifenol no se disuelve a pH=2, el complejo polifenol-plomo precipita o se queda retenido en el sólido, es por ello que los porcentajes de adsorción ascienden al 98%.

Por otro lado a pH=4, se observa un descenso en el porcentaje de adsorción 97%. Ello se debería a la solubilización de ligandos dado a pH=4, a este valor los grupos carboxílicos y fenólicos se ionizan levemente, esto hace que una parte de los compuestos orgánicos presente en las hojas de quinua se suelten y pasen al agua. Los polifenoles que se solubilizaron también reaccionan con el plomo formando plomo-polifenol solubles. En conclusión los altos porcentajes de adsorción no

dependen del pH ni de la temperatura, sino más bien de los grupos funcionales y la estabilidad de la biomasa de la quinua.

Con respecto de la temperatura, el alto valor p(0.717) y el bajo valor F(0.34) sugiere que el proceso de adsorción es termodinámicamente estable en el intervalo evaluado.La ausencia de un efecto significativo de la temperatura indica que el equilibrio de adsorción se alcanza con una eficiencia similar a 15°C y 45°C, lo cual sugiere que el proceso no es fuertemente endotérmico ni exotermico en estas condiciones.

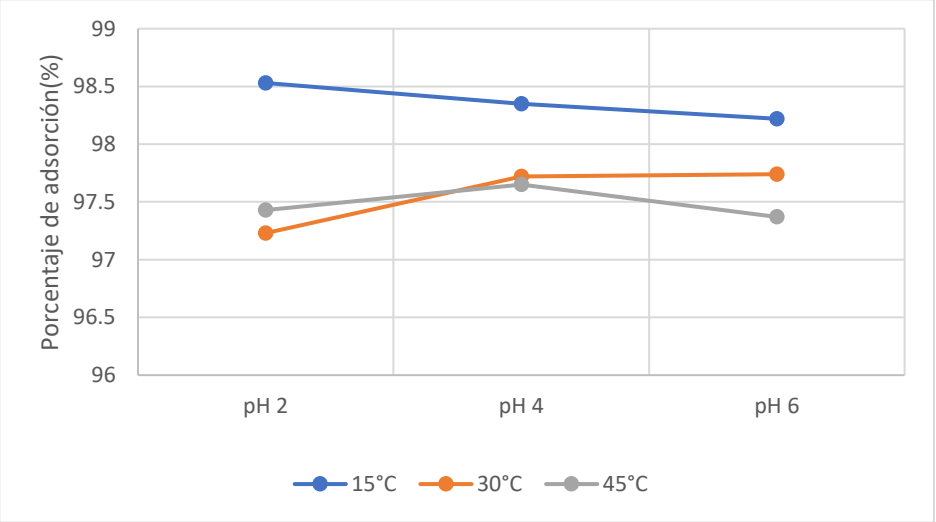
Además, un hallazgo crítico del ANOVA es la magnitud del cuadrado medio del error(8.2E-04) en comparación con el cuadrado medio de los tratamientos, lo cual aduce que existe una heterogeneidad intrínseca en el material biosorbente. En cuanto a ello es sabido que al ser las hojas de quinua una matriz biológica compleja puede presentar variaciones en su estructura celular, composición o área superficial entre una muestra y otra, esta variabilidad natural conocida también como ruido experimental parece haber superado la variabilidad inducida por los cambios de pH y temperatura, dificultando la detección de diferencias estadísticas calaras con el tamaño demuestra(n=27).

En conclusión las variables asumidas en la presente investigación no presentan efecto sobre el porcentaje de adsorción en los rangos probados, lo cual sugiere que las hojas de quinua pueden funcionar con adsorbente efectivo sin la necesidad de controles rigurosos; lo cual facilitar su implementación en sistemas de tratamiento

de suelos donde el pH y la temperatura pueden fluctuar moderadamente sin comprometer la eficiencia de remoción del metal.

Figura 8

Gráfico de interacción entre el pH y la temperatura sobre el porcentaje de adsorción



La figura 8, muestra que el tratamiento a 15°C mantiene los valores más altos de adsorción en todos los niveles de pH evaluados, por el contrario al aumentar la temperatura a 30°C y 45°C el porcentaje de adsorción tiende a disminuir ligeramente situándose en el rango de 97.2 a 97.8%.Respecto a la interacción, las líneas no presentan cruces drásticos , sino que muestran un comportamiento relativamente estable a través de los diferentes pH. Esto concuerda con el análisis de varianza ANOVA, que indico que no existe una interacción estadísticamente significativa entre el pH y la temperatura, sugiriendo que el efecto de la temperatura es independiente del pH en el rango estudiado.

Tabla 15

Análisis de Varianza para determinar la significancia en la adsorción de plomo en suelos con hojas Chenopodium quinoae

Variable	N	R^2	R^2 Al	CV
Concentración Pb mg/kg	6	1.00	1.00	1.38

En la tabla 15, se presenta la significancia de la adsorción de plomo en suelos con hojas de *Chenopodium quinoae*, obteniendo un coeficiente de correlación R^2 =1.00 lo cual significa que el modelo representa el 100% de la variabilidad De la dispersión de la junta de plomo en mg/kg. Esto sugiere que las variables incluidas en el modelo explican completamente la variabilidad en la concentración de plomo, además R^2 coeficiente de determinación ajustado es 1.00, indicaría que el ajuste del modelo no se vería penalizado por la inclusión de otras variables adicionales y CV: error estándar de la estimación= 1.38, indicaría la utilidad del modelo para evaluar la precisión de las predicciones.

Tabla 16

Análisis de varianza ANOVA significancia para los tratamientos

F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1948950.80	1	1948950.80	31542.51	<0.0001
Tratamiento	1948950.80	1	1948950.80	31542.51	<0.0001
Error	247.15	4	61.79		
Total	1949197.96	5			

La tabla 16 presenta la significancia entre tratamientos donde se observa que el p-valor 0,0001<0,05 con gl 1 lo cual infiere que si existe una diferencia relevante entre

tratamientos, lo que respalda la validez del modelo en la explicación de la variabilidad en los datos logrados en la presente investigación.

Tabla 17

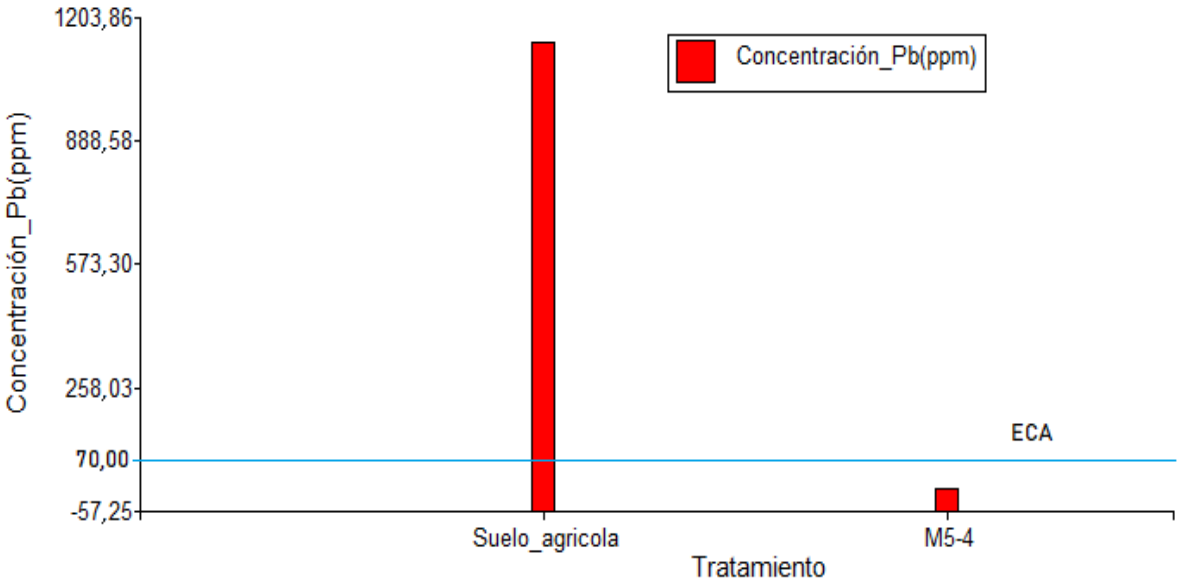
Análisis de Tukey para suelos agrícolas con y sin adición de hojas de Chenopodium quinoae

Tratamiento	Medias	n	E E	
M5-4	0.25	3	4.54	A
Suelo agrícola	1140.12	3	4. 54	B

La tabla 17, proporciona una diferencia mínima significativa entre tratamientos a un nivel de significancia(α= 0.05), estos resultados indicarían que el tratamiento de suelo agrícola con hojas de quinua es diferente al tratamiento de suelos agrícola, infiriendo que el tratamiento con hojas de quinua presento concentraciones mínimas de plomo, resultados que permiten establecer que las hojas de quinua poseen alto poder de adsorción permitiendo que las concentraciones de plomo disminuyan hasta encontrase de acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental aplicables a suelos(Figura 9).

Figura 9

Grafica comparativa de las concentraciones de plomo en suelos agrícolas sin y con adición de hojas de Chenopodium quinoae



4.3. Discusión de los resultados

Contenido de compuestos fenólicos en las hojas de quinua

Dado que las hojas de quinua son una fuente excepcional de minerales esenciales, aminoácidos, proteínas y ácidos grasos omega-3 (Campos-Rodriguez et al., 2022); además contienen una cantidad sustancial de compuestos fenólicos (Pathan & Siddiqui, 2022), estos grupos funcionales fueron caracterizados con espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en el rango de longitud de onda de 400 a 4000 cm^{-1}.

En cuanto a las pruebas de adsorción, es sabido que los taninos son considerados metabolitos secundarios presente en tejidos blandos de las plantas hojas, agujas y

cortezas(Hernes & Hedges, 2004), además el ácido tánico es un compuesto polifenolico que en su estructura se observa un anillo de glucosa y cinco unidades de ácido gálico unidas mediante enlace ester (Meleán et al., 2023), así también el ácido gálico es un trifenol que contiene además un grupo carboxilo(Venegas Casanova, 2012). Por consiguiente estos compuestos son usado en la adsorción de metales debido a la gran capacidad de unión con iones metálicos (Jorge et al., 2002; Bacelo et al., 2016), así mismo Yurtsever & Şengil (2009) manifestaron que los taninos poseen grupos hidroxilo con gran afinidad por los metales pesados tóxicos como el plomo, con los cuales formaría quelatos logrando inmovilizarlos, este proceso se estaría desarrollando en condiciones acidas, dada la estabilidad de los radicales hidroxilo -OH y carboxilo COOH en medio ácidos(pH=2)

Evaluación del efecto d e *Chenopodium Quinoae* en la capacidad de adsorción del Plomo bajo parámetros controlados de pH y temperatura en suelo.

Pruebas de adsorción

El porcentaje de adsorción se evaluó en función del pH (2, 4 y 6) y temperaturas de (15°C, 30°C y 45°C), en estas condiciones el porcentaje de adsorción fue de 97 al 98%, estos resultados infieren que las hojas de quinua(*Chenopodiun quinoae*) puede ser usado para inmovilizar a los metales en el suelo, aprovechando los compuestos polifenolicos que este residuo presenta, de igual manera Saranya Kuppusamy; Palanisami Thavamani, Mallavarapu Megharaj, (2015) reportaron que

los metales poseen una capacidad de unión fuerte con los polifenoles, permitiendo la inmovilización del metal mediante la adsorción superficial.

Los resultados son concordantes con la investigación realizada por Vizcano Mendoza & Fuentes Molina,(2015) quienes reportaron porcentajes de adsorción de Plomo en un rango de 96% al 98% con biomasa proveniente de tunas; en la misma línea, Kabwadza-Corner et al. (2015) realizaron una investigación que indicó que el porcentaje de adsorción aumenta progresivamente según va en aumento el pH dentro del rango de pH de 2 a 6. Los resultados obtenidos en la presente investigación(pH=2) desafían el comportamiento normal de los biosorbentes convencionales donde la adsorción disminuye en medio ácidos debido a la competencia protónica de los sitios activos. Este fenómeno sugiere que la formación de complejos de coordinación es de esfera interna denominado quelación en donde se forma un complejo Polifenol-Pb en condiciones de alta acidez.

Según los anterior, la aplicación de biomasa de Chenopodium quinoae en suelos logra mantener tasa de adsorción del 98% a pH=2, lo que representa una ventaja tecnológica significativa frente adsorbentes convencionales que requieren un ajuste del pH a rangos neutros.

Por otro lado, la aplicación de la biomasa de Chenopodium quinoae a efluentes mineros cargados con plomo en condiciones de extrema acidez optimizaran el procesos eliminando la necesidad de etapas costosas de neutralización química, posicionando al biosorbente no solo como una alternativa ecológica, sino como una solución económicamente viable para e tratamiento in situ de sitios contaminados.

Determinación del porcentaje de adsorción del Pb con *Chenopodium quinoae* en suelos agrícolas contaminados por residuos mineros de Tiquillaca.

En este estudio se tomó muestras de suelo agrícola y se mezcló con hojas de quinua trituradas a pH=4 lográndose este al añadir solución de HNO_3 0.1 M y temperatura de 15° C, se debe considerar que la concentración de plomo en estas especímenes fue de 1135 ppm y después de la aplicación de las hojas de quinua la concentración se redujo enormemente llegando a concentraciones mínimas de 0.071mg/kg, según los resultados, las hojas de quinua aplicada en suelos presentarían porcentajes de adsorción del 99.99% en medios ácidos y temperatura ambiente. En este entender las hojas de quinua pueden ser usadas como enmiendas orgánica para la biorremediación de sitios contaminados, ya que el contenido de fenoles podrían ser usados como fuente de carbono mejorando las comunidades del suelo en condiciones de contaminación. Además,la presencia de polifenoles actuarían como agentes quelantes de la concentración de metales pesados en el suelo reteniendo cationes inorgánicos intercambiables (K, Ca y Mg) al proporcionar sitios de alta sorción y pueden mantener la disponibilidad de micronutrientes metálicos (Mn, Fe) mediante la formación de complejos orgánicos (Saranya Kuppusamy; Palanisami Thavamani, Mallavarapu Megharaj, 2015).

De la misma forma Tejada-Tovar et al.,(2015), infiere que la biomasa residuales adsorbe metales pesados debido a las proteínas, polisacáridos y compuestos fenólicos con grupos carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amino, los cuales captan los iones metálicos mediante procesos de adsorción. Estos fenómenos se dan en

la superficie del adsorbente mediante mecanismo de intercambio iónico, enlace por complejación o interacción de cargas electrostáticas

A ello Atehortua (2013), presento porcentajes de adsorción similares a los reportados en la presente investigación, infiriendo que la biomasa proveniente de la estructura macroporosa y mesoporosa de los tejidos vegetales es responsable de su alta capacidad para la eliminación de plomo. Esta estructura contiene un número significativo de dispositivos que potencian la adsorción de iones metálicos mediante grupos funcionales específicos de la celulosa, aumentando así el número de sitios activos disponibles. Para el caso de las hojas de quinua estos contienen compuestos polifenolicos que inmovilizan a los metales pesados evitando la lixiviación de los metales, además estos componentes pueden actuar como ligandos entre los grupos funcionales y los metales mediante interacciones no covalentes con los contaminantes inorganicos(Saranya Kuppusamy; Palanisami Thavamani, Mallavarapu Megharaj, 2015).

CONCLUSIONES

Las hojas de quinua (*Chenopodium quinoae*), presentan radicales oxidrilo (-OH) y COOH(carboxilo) identificados por espectroscopia del infrarrojo con transformada de Fourier FTIR.

La aplicación de las hojas de quinua (*Chenopodium quinoae*), presentan una capacidad de adsorción de plomo situado en el rango de 3.889 a 3.941 mg/g, así también muestran porcentajes de adsorción elevados en el rango del 97.232 al 98.531%, no siendo significativos el pH y la temperatura, ni sus interacciones.

La capacidad de adsorción del plomo con hojas de quinua fue elevada con un valor de 230.55 mg/g y porcentaje de adsorción del 99.9%, lo cual significaría que los compuestos fenólicos presente en el adsorbente son eficaces para inmovilizar al plomo presente en los suelos agrícolas contaminados con residuos mineros, limitando la biodisponibilidad del plomo para la biodiversidad residentes en el lugar.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere evaluar el porcentaje de adsorción de las hojas de quinua en plomo con concentraciones mínimas de adsorbente.
- Se recomienda evaluar el porcentaje de adsorción de las hojas de quinua en plomo a tiempos menores propuestas de la actual investigación.
- Se recomienda evaluar el porcentaje de adsorción del plomo haciendo uso de extractos de hojas de quinua.
- Se recomienda estimar la proporción de plomo retenido por adsorción con aplicación de otras elementos como el diámetro de partículas y la concentración de adsorbato y adsorbente.

REFERENCIAS

Arias, J. M., Paternina, E., & Barragán, D. (2009). *Adsorción física sobre sólidos: aspectos termodinámicos.* Química Nova, 32(5), 1350–1355. https://doi.org/10.1590/s0100- 40422009000500046

Ahmed, I. M., Helal, A. A., El Aziz, N. A., Gamal, R., Shaker, N. O., & Helal, A. A. (2019). *Influence of some organic ligands on the adsorption of lead by agricultural soil. Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 2540–2547. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.03.012

Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N. V., Wenzel, W. W., & Rinklebe, J. (2017). *Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation–A review. EarthScience Reviews*, 171, 621–645. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005

Avila, A. S., & Alata, V. R. (2020). *Evaluación de la eficiencia de remoción del arsénico en agua subterránea utilizando harina de Totora Nativa (Schoenoplectus californicus) en la zona rural de Coata, región Puno.* Universidad Peruana Unión https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3205

Baotou, China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 94(2), 214–219. https://doi.org/10.1007/s00128-014-1435-y

Bedoya-Gómez, B. D., Dossman-Gil, M. A., & Marín-Fernández, J. (2021). *Valoración ecológica de los servicios ecosistémicos prestados por el*

suelo en fincas cafeteras en Belén de Umbría, Colombia. Revista de Ciencias Ambientales, 55*(1), 160-185. 10.15359*/rca.55-1.8.

Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). *Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry, 120(September 2017), 105–125*.

https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030

Burbano, H. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria.* Revista de Ciencias Agrícolas, 33*(2), 117-124. 10.22267/rcia.163302.58. Cabrera, D. (2018). Evaluación de la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Retrieved from 661.

http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8217

Cardona, A., Cabañas, D., & Zepeda, A. (2013). *Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados , Pb (II) y Zn (II).* Ingeniería, 17(1), 1– 9. Retrieved from http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001

Chamorro, A., & Sánchez Andica, R. (2013). *Estudio de la adsorción de Plomo en uelos de la región minera en el distrito de Buenos Aires en el departamento del Cauca, Colombia*. Revista de Ciencias, 16, 145–160.

https://doi.org/10.25100/rc.v16i0.510

Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., & Wang, J. (2015). *Contamination features and health risk of soil heavy metals in China*. Science of the Total Environment, 143–153. https://doi.org/doi:10.3390/agronomy10020301

Choquejahua, Y. (2018). *Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasas de granos de cebada (Hordeum vulgare L.) y avena (Avena sativa L.) bajo condiciones altoandinas - Puno*. Universidad Peruana Unión. Retrieved from 687.
https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1689

Chowdhury, N., Sinha, D., Das, A., Joardar, M., Joseph, A., Ray, I.,Roychowdhury, T. (2022). *A Potential Phytoremedial Strategy for Arsenic from Contaminated Drinking Water Using Hygrophilla spinosa* (Starthorn Leaves).
https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119791461.ch20

Cravotta, C. A., & Brady,K. B. C. (2015). *Priority pollutants and associated constituents in untreated and treated discharges from coal mining or processing facilities in Pennsylvania, USA. Applied Geochemistry*, 62, 108–130.
https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.03.001

Dodbiba, G., Ponou, J., & Fujita, T. (2015). *Biosorption of Heavy Metals. In Chapter* 2 (pp. 409– 426).
https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8903-7.ch077

Dundar, M., Nuhoglu, C., & Nuhoglu, Y. (2008). *Biosorption of Cu (II) ions onto the litter of natural trembling poplar forest.* Hazardous Materials, 151, 86–95. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.055

Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Sułkowski, M., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyz, J. (2013).*Antioxidant and anticancer activities of Chenopodium quinoa leaves extracts - In vitro study. Food and Chemical Toxicology, 57, 154–160*. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.03.023

Gibbons, W. A., & Siemion, I. Z. (1997). *Assessing Soil Quality for Environmental Purposes: Roles and Challenges for Soil Scientists. Biophysical Chemistry*, 31(1–2), 1. https://doi.org/10.1016/0301-4622(88)80001-2

Gutierrez, A., & Ibañez, Y. (2020). *Eficiencia de la vaina de Phaseolus vulgaris y cáscara de Citrus sinensis en la Biosorción de arsénico del agua del río Moche. Universidad Privada del Norte*. Universidad Privada del Norte. Retrieved from

Gutierrez, H., & Salazar, R. (2008). Analisis y diseño de experimentos.

Hernandez, J. (2021). *Sìntesis de nanoparticulas de oro con extracto vegetal de cafè(Coffea arabica L.) (Vol. 26, Issue 2)*. http://www.ufrgs.br/actavet/31- 1/artigo552.pdf

Hooda, P. S. (2010). *Trace Elements in Soils. In Trace Elements in Soils*. https://doi.org/10.1002/9781444319477

Huirache-Acuña, R. (2021). *CD(II) and PB(II) adsorption using a composite obtained from moringa oleifera lam. cellulose nanofibrils impregnated with*

iron nanoparticles. Water (Switzerland), 13(1). https://doi.org/10.3390/w13010089

Kabata Pendias, A., & Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plant. In Boca Raton (Third Edit).* http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/TraceElements-in-Soils-and-Plants.pdf

Kavitha, C., Vijayasarathi, P., Tamizhdurai, P., Mythily, R., & Mangesh, V. L. (2022). *Elimination of Lead by Biosorption on Parthenium stem powder using Box-Behnken 740 Design.* South African Journal of Chemical Engineering, 42(January), 270–279. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.08.006

Lago-Vila, M., Rodríguez-Seijo, A., Arenas-Lago, D., Andrade, L., & Vega, M. F. A. (2017). *Heavy metal content and toxicity of mine and quarry soils. Journal of Soils and Sediments*, 17(5), 1331–1348. https://doi.org/10.1007/s11368-016-1354-0

Leiva, R. (2007). *Importancia y aplicaciones de la adsorción en fase líquida. Sólidos Porosos, Preparación, Caracterización y Aplicaciones*., 1, 160–170.

Li, X., Wang, X., Chen, Y., Yang, X., & Cui, Z. (2019). *Optimization of combined phytoremediation for heavy metal contaminated mine tailings by a field-scale orthogonal experiment. Ecotoxicology and Environmental Safety,* 168(October 2018), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.012

Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T. J., Yuan, Z., & Huang, L. (2014). *A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment.* Science of the Total Environment, *468-469*, 843-853. 10.1016/j.scitotenv.2013.08.090

Lovering, T. (1976). Lead in the Environment. Geological Survey Professional Paper Porras.

Machado, S., Pinto, S. L., Grosso, J. P., Nouws, H. P. A., Albergaria, J. T., & DelerueMatos, C. (2013). *Green production of zero-valent iron nanoparticles using tree leaf extracts. Science of the Total Environmen*t, 445–446, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.033

Martinez, C. (2019). *Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros*.

Martínez, C., Aguilera, E., & Martinez, E. (2018*). Remoción de arsénico de agua potable mediante adsorción sobre óxido y oxihidróxidos de hierro. CienciAcierta*, 56, 1–14

Memon, F. N., & Memon, S. (2015). Sorption and Desorption of Basic Dyes from Industrial Wastewater Using Calix[4]arene Based Impregnated Material. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, *50*(8), 1135–1146. https://doi.org/10.1080/01496395.2014.965831

Mendoza Vizcaíno, L., Fuentes Molina, N., & Gonzales Fragozo, H. (2017). Adsorción de Plomo(II) en solución acuosa con tallos y hojas de Eichhornia crassipes. *U.D.C.A*, *2*, 435–444.

Méndez, M., Bodero, K., Alvarado, S., Huayamave, R., & Apolo, D. (2020*). Biosíntesis de Nanopartículas De Hierro (Fe3O4) En La Remediación de aguas contaminadas. Universidad Ciencia y Tecnología,* 35–45. http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/262

Meza Lopez, F. de L. (2017). *Estudio de la adsorciòn de arsenico presente en soluciones acuosas empleando materiales adsorbentes a base de quitosano modificado.*

Meza, F. (2017). Estudio de la adsorción de arsénico presente en soluciones acuosas empleando materiales adsorbentes a base de quitosano modificado

Mukherjee, R., Kumar, R., Sinha, A., Lama, Y., & Krishna, A. (2015). *A Review on Synthesis, Characterization and Applications of nano-Zero Valent Iron (nZVI) for Environmental Remediation*.(October). https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1103832

Murithi, G., Onindo, C. O., Wambu, E. W., & Muthakia, G. K. (2014). *com Removal of Cadmium(II) Ions from Water by Adsorption using Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) Biomass*. *9*(Ii), 3613–3631.

Ninahuanca, A. (2022). *Evaluación de la cascara de mandarina citrus reticulata y maracuyá pasiflora edulis como biosorbentes para la remoción de plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020*. Repositorio Institucional UNFV.1 Retrieved.

Orozco, C. I., Freire, S., Gómez, D., & González, J. (2023). *Removal of copper from aqueous solutions by biosorption onto pine sawdust,*

Sustainable Chemistry and Pharmacy, 32. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101016

Porras, G., & Martinez, C. (2019). *Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros*

Reyes, M., & Barreto, L. (2011). *Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. Revista Épsilon, 16(16), 31–45.*

Rodriguez, O. (2019). *Biosorciòn estàtica de Mercurio (II) mediante biomasa residual de tallos de rosa modificada (Rosa sp.) en disoluciones acuosas. In Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental*. https://hdl.handle.net/20.500.12805/806

Rodríguez, R., Linares, R., & Guadalupe, E. (2009). *Adsorción y desorción de cromo hexavalente en relaves mineros. Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol., 12, 108–116*

Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (2006). Metodologia de la Investigaciòn (N. Islas (ed.); Cuarta Edi).

Sebastian, A., Nangia, A., & Prasad, M. N. V. (2018). *Iron Oxide Nanoparticles and Reclamation of Mine Sites. In Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation. Elsevier Inc*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00011-7

Sharma, P., Kaur, H., Sharma, M., & Sahore, V. (2011). *A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from*

aqueous waste. Environmental Monitoring and Assessment, 183(1–4), 151–195.

https://doi.org/10.1007/s10661-011-1914-0

Si, W., Liu, J., Cai, L., Jiang, H., Zheng, C., He, X., Wang, J., & Zhang, X. (2015). *Health risks of metals in contaminated farmland soils and spring wheat irrigated with Yellow River water in Baotou, China.* Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 94(2), 214–219. https://doi.org/10.1007/s00128-014-1435-y

Valladares-Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., de la Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (2017). *Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *16*(31), 55–73. https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3

Vázquez-Guerrero, A., Cortés-Martínez, R., Alfaro-Cuevas-villanueva, R., Rivera-Muñoz, E. M., & Huirache-Acuña, R. (2021). *CD(II) and PB(II) adsorption using a composite obtained from moringa oleifera lam. cellulose nanofibrils impregnated with iron nanoparticles*. Water (Switzerland), 13(1). https://doi.org/10.3390/w13010089

Vilacrés, E., Silva, E., Cuadrado, L., Alvares, J., & Quelal, M. B. (n.d.). *La riqueza oculta de las hojas de quinua(chenopodium quinoa Willd).* http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Vizcaíno, L., Fuentes, N., & González, H. (2017). *Adsorption of lead (II) with stems and leaves of eichhornia crassipes in aqueous solution.* Udca, 20(Ii), 435–444. http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a21.pdf%0Ahttps://revistas.udca.edu.

Wu, Z., Gu, Z., Wang, X., Evans, L., & Guo, H. (2003). *Effects of organic acids on adsorption of lead onto montmorillonite, goethite and humic acid. Environmental Pollution*, 121(3), 469– 475. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00272-5

Yadav, K. K., Singh, J. K., Gupta, N., & Kumar, V. (2017). *A review of nanobioremediation technologies for environmental cleanup: A novel biological approach. Journal of Materials and Environmental Science,* 8(2), 740–757.

Yin, H., Tan, N., Liu, C., Wang, J., Liang, X., Qu, M., Feng, X., Qiu, G., Tan, W., & Liu, F. (2016). *The associations of heavy metals with crystalline iron oxides in the polluted soils around the mining áreas in Guangdong Province, China*. *Chemosphere*, *161*,81-189. 10.1016/j.chemosphere.2016.07.018

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO

GALERIA DE FOTOS

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXOS 01

GALERIA DE FOTOS

IMAGEN 01.-Tratamientos de adsorción de plomo con hojas de quinua según pH y temperatura

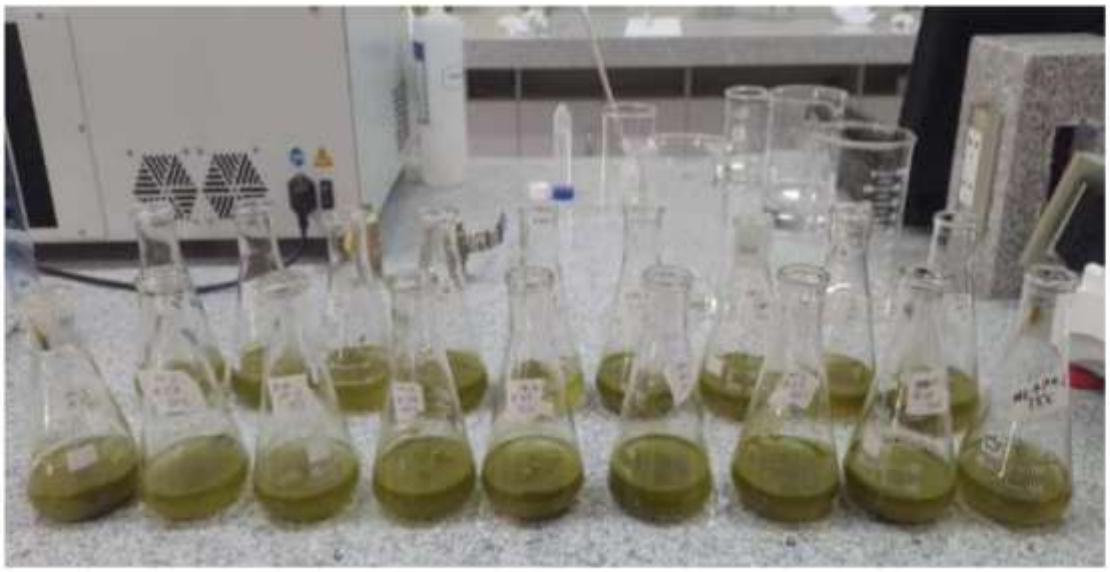


IMAGEN 02.-Agitación de las muestras para cada uno de los tratamientos de adsorción

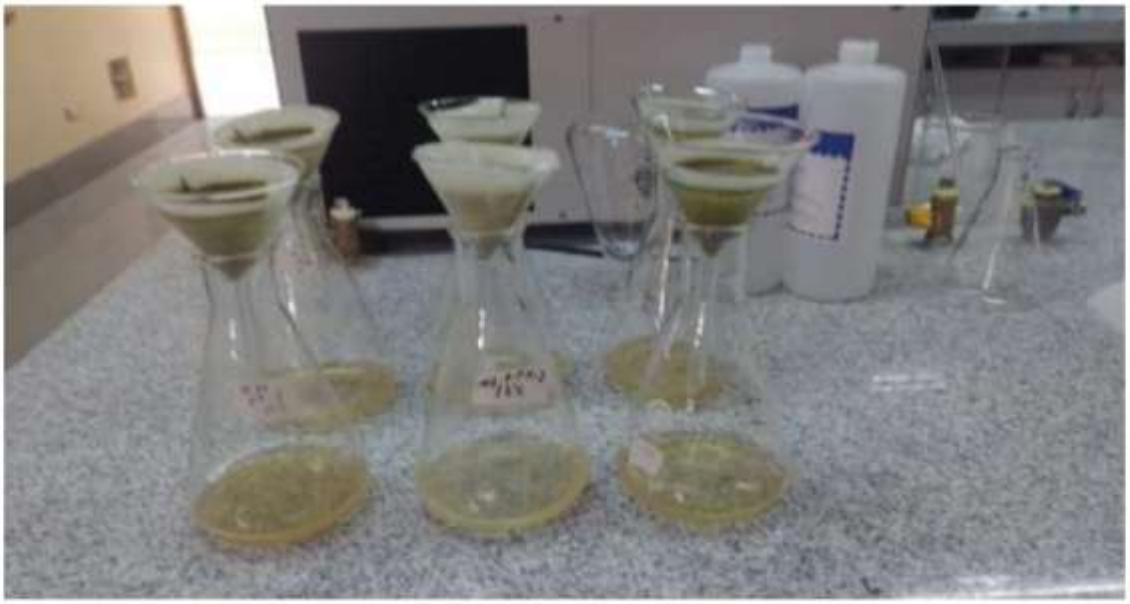


OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

IMAGEN 03.-Agitación de las muestras para los tratamientos de adsorción con hojas de quinua



IMAGEN 04.-Agitación de las muestras para cada uno de los tratamientos de adsorción



TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS

(EC-0005-2017-UNSA)

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER

Para: ING. ELIANA MULLISACA CONTRERAS

Aprobado por: Dra. Adriana Edith Larrea Valdivia

Analista: Carlos Javier Valenzuela Huillca

Informe de ensayo No: 220-24			
VERSIÓN	**RECEPCIÓN DE MUESTRA**	**EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS**	**EMISIÓN DE INFORME**
1	25-Mar-2024	01-Abr-2024	03-Abr-2024

Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS (EC-0005-2017-UNSA). Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
UNSA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"
INFORME DE ENSAYO
220-24

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 3
2. Identificación del cliente 3
3. Método utilizado 3
4. Condiciones de análisis 3
5. Observaciones 4
6. Espectros 4

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la investigadora ING. ELIANA MULLISACA CONTRERAS, se ha realizado el análisis por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, rango medio (MIR), de las siguientes muestras:

Biomasa de quinua
MS5
NPs tratamiento

Se recibió en consistencia sólida, y en cantidad apropiada para el análisis a realizar.
La lectura de la muestra fue directamente analizada sobre el accesorio de reflectancia total atenuada UATR.

2. IDENTIFICACIÓN DEL INVESTIGADOR

Nombre	ING. ELIANA MULLISACA CONTRERAS
Contacto	Teléfono
	Correo electrónico

3. MÉTODO UTILIZADO

Para la realización del análisis se siguió los lineamientos de la norma ASTM E1252-98 (2021) "Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis", con un rango de número de onda desde 650 cm^{-1} hasta 4000 cm^{-1} y accesorio de reflectancia total atenuada universal.

4. CONDICIONES DEL ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER FT-IR

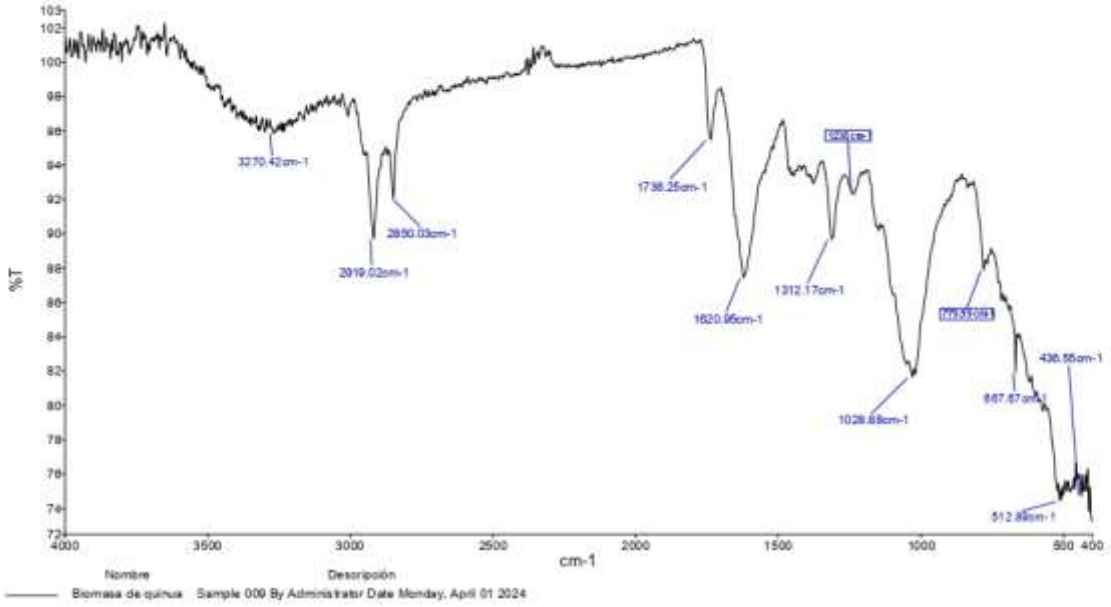
Equipo	Marca Perkin Elmer, modelo Frontier FT-IR/NIR
Rango de barrido	4000 cm^{-1} - 650 cm^{-1}
Tipo de accesorio	Universal ATR
Cristal UATR	Diamante/ZnSe
Saltos UATR	3

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

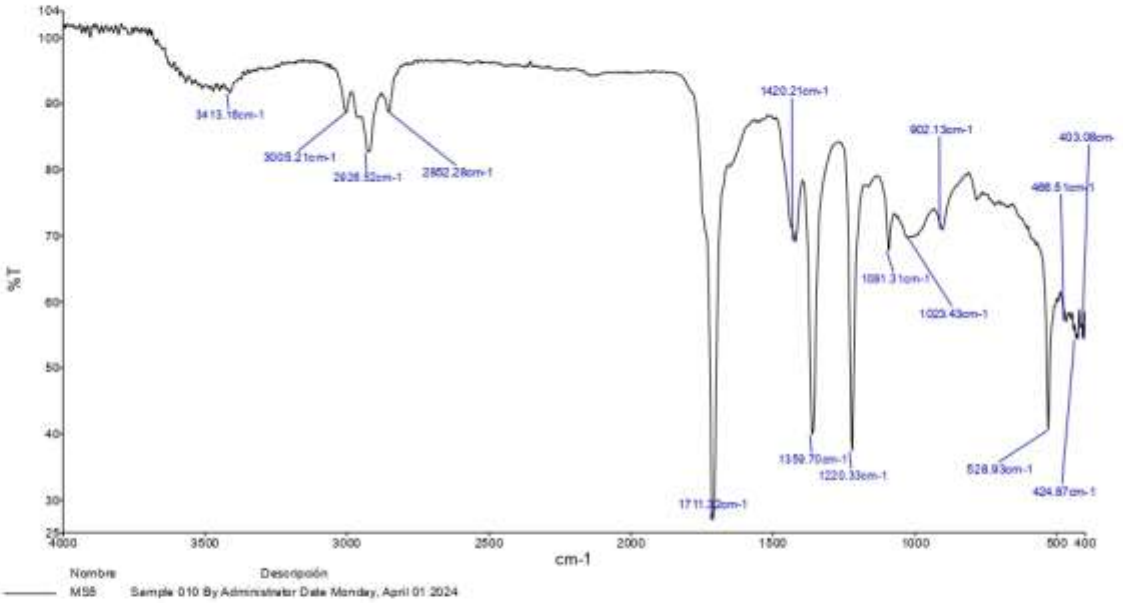
5. OBSERVACIONES

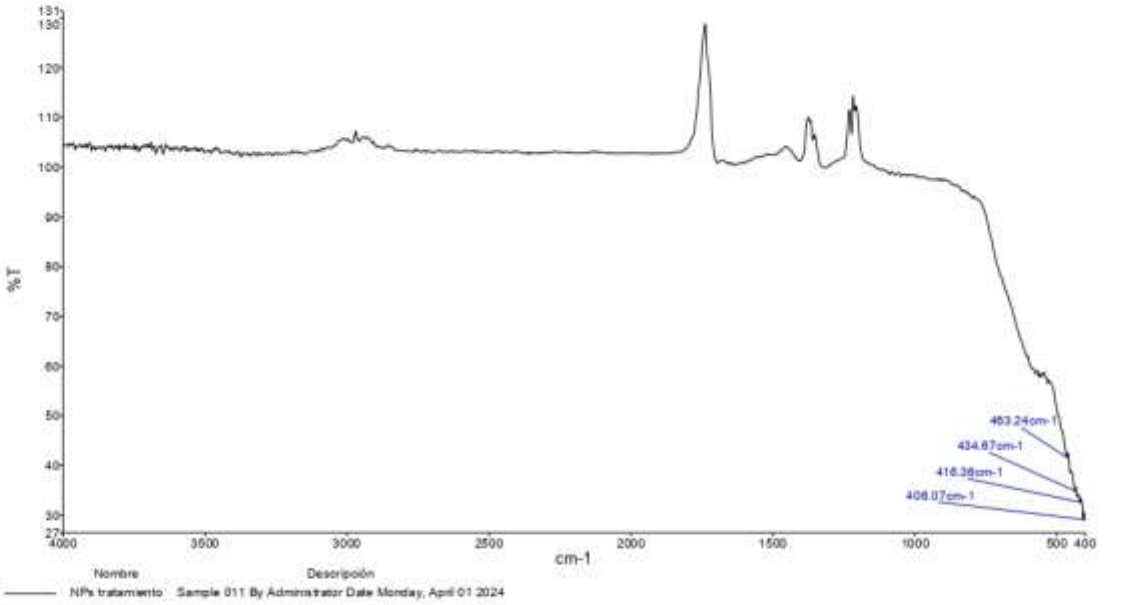
- ✓ Los resultados corresponden a la muestra proporcionada por el investigador, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- ✓ La zona del espectro desde 1900 cm-1 hasta 2250 cm-1 corresponde al ruido generado por el accesorio, por lo que no debe ser tomada en cuenta para la identificación de grupos funcionales.
- ✓ Este documento va acompañado con la data del equipo, que consta del archivo .SP y archivo .CSV, que pueden ser manejados en Origin o Microsoft Excel, respectivamente.

6. ESPECTROS



OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/





OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS

(EC-0005-2017-UNSA)

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)

Para: Ing. Eliana Mullisaca Contreras

Aprobado por: Dra. Adriana Edith Larrea Valdivia

Analista: Carlos Javier Valenzuela Huillca

Informe de ensayo No: 221-24			
VERSIÓN	**RECEPCIÓN DE MUESTRA**	**EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS**	**EMISIÓN DE INFORME**
1	25-Mar-2024	27-Mar-2024	03-Abr-2024

Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 3
2. Identificación del investigador 3
3. Método utilizado 3
4. Equipo utilizado 3
5. Observaciones 4
6. Resultados 4

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la investigadora Ing. Eliana Mullisaca Contreras, se ha realizado el análisis por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para plomo de las siguientes muestras.

C1	C6
C2	M1A 2 15°
C3	M1A 4 15°
C4	M1A 6 15°
C5	M2A 2 30°

Se recibieron en consistencia líquida y en cantidad apropiada para el análisis a realizar.

2. IDENTIFICACIÓN DEL INVESTIGADOR

Nombre	Ing. Eliana Mullisaca Contreras
Contacto	Teléfono
	Correo electrónico

3. MÉTODO UTILIZADO

Para la realización del análisis se siguió las siguientes normas:

- Method 6020A: Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

4. EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS POR ESCPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE

Equipo:	ICP-MS Perkin Elmer, NexION 2000C
	Digestor de Microondas Ethos Easy, Milestone

5. OBSERVACIONES

- ✓ Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el investigador, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del centro de investigación.
- ✓ Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

6. RESULTADOS

MUESTRA	Pb (ppb)
C1	424.107
C1-Rep1	428.627
C1-Rep2	421.825
C2	621.716
C2-Rep1	623.506
C2-Rep2	611.928
C3	606.547
C3-Rep1	552.008
C3-Rep2	568.622
C4	491.251
C4-Rep1	489.201
C4-Rep2	502.854
C5	456.766
C5-Rep1	453.470
C5-Rep2	452.378
C6	412.692
C6-Rep1	390.310
C6-Rep2	389.786
M1A 2 15°	289.905
M1A 2 15°-Rep1	301.299
M1A 2 15°-Rep2	291.384
M1A 4 15°	556.217
M1A 4 15°-Rep1	550.331
M1A 4 15°-Rep2	554.306
M1A 6 15°	509.130
M1A 6 15°-Rep1	521.791
M1A 6 15°-Rep2	510.900
M2A 2 30°	324.962
M2A 2 30°-Rep1	328.782
M2A 2 30°-Rep2	339.296

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS

(EC-0005-2017-UNSA)

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)

Para: Ing. Eliana Mullisaca Contreras

Aprobado por: Dra. Adriana Edith Larrea Valdivia

Analista: Carlos Javier Valenzuela Huillca

Informe de ensayo No: 223-24			
VERSIÓN	**RECEPCIÓN DE MUESTRA**	**EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS**	**EMISIÓN DE INFORME**
1	25-Mar-2024	10-Abr-2024	10-Abr-2024

Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 3
2. Identificación del investigador 3
3. Método utilizado 3
4. Equipo utilizado 3
5. Observaciones 4
6. Resultados 4

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la investigadora Ing. Eliana Mullisaca Contreras, se ha realizado el análisis por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para plomo de las siguientes muestras.

M1B 2 15	M3A 4 45
M1B 4 15	M3A 6 45
M1B 6 15	P-40
M2B 2 45	P-60
M3B 4 45	P-80
M3B 6 45	P-100
M2B 2 30	P-120
M2B 4 30	P-140
M2B 6 30	M5-4-4
M2A 4 30	M5-6
M2A 6 30	1A
M3A 2 45	2B

Se recibieron en consistencia líquida y en cantidad apropiada para el análisis a realizar.

2. IDENTIFICACIÓN DEL INVESTIGADOR

Nombre	Ing. Eliana Mullisaca Contreras
Contacto	Teléfono
	Correo electrónico

3. MÉTODO UTILIZADO

Para la realización del análisis se siguió las siguientes normas:

- Method 6020A: Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"
UNSA

4. EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS POR ESCPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE

Equipo:	ICP-MS Perkin Elmer, NexION 2000C
	Digestor de Microondas Ethos Easy, Milestone

5. OBSERVACIONES

- ✓ Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el investigador, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del centro de investigación.
- ✓ Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X] Fecha de entrega: _____

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ELIANA MULLISACA CONTRERAS
Dirección: PSJ. LAS AMERICAS URB. 20 DE ENERO MZ. G2 LT. 14
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 29662856
Teléfono: 951 112 991 email: e.mullisaca@unap.edu.pe
Nombres y Apellidos:
Dirección:
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:
Teléfono: email:
Facultad y/o Escuela de Posgrado: DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL
Escuela Profesional o Mención:
Título o Grado Académico a optar: DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL
Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]
Título: EFECTO DE CHENOPODIUM QUINOAE EN LA ADSORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS POR RESIDUOS MINEROS EN TIQUILLACA - 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): Adsorción, Chenopodium Quinoae, Plomo, suelo.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV [1,2]?
2

[1] Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☐ Titulo ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☒ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a):_____

☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comérciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

☐ Sí autorizo

☒ No autorizo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral**. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- [x] Internacional
- [ ] Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P68



Juliaca, 27 de Enero 2026

Firma de Autor | huella digital | Fecha

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/