

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES



Capacidad de Adsorción de Plomo y Cadmio de agua por *Minthostachys acris*,
Clinopodium bolivianum y *Pleurotus* spp

Tesis presentada por la maestra:

Aranzabal Carrasco Rosana Leonor

Para optar el Grado Académico de Doctora en
Ciencias y Tecnologías Medioambientales

Asesor: Dr. Pavel Kewin Delgado Sarmiento

Arequipa – Perú

2024

Capacidad de Adsorción de Plomo y Cadmio de agua por *Minthostachys acris*,

Clinopodium bolivianum y *Pleurotus* spp

Tesis presentada por el

Mg. Rosana Leonor Aranzabal Carrasco

JURADO DICTAMINADOR:

- Dra. Julia Lilians Zea Alvares

Presidente del jurado

- Dra. Kattia Glenny Martínez Rivera

Integrante del jurado

- Dr. Pavel Kewin Delgado sarmiento

Asesor

DEDICATORIA

A la memoria de Mario mi papá quien con sus manos divinas me enseñó a escribir y su amor inmenso a leer. Para Rosa Elena mi mama que admiro su fortaleza incomparable en cada momento de su existir.

A Tati y Sebitas mis hijos que son la luz de mis ojos y fueron la energía para terminar este proyecto

A mis compañeros incondicionales Costa, Papin y Máximo Decimo

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por finalizar este trabajo de investigación, al programa YACHAYNINCHIS WIÑARINAMPAQ 2017, de la universidad San Antonio Abad del Cusco, por el financiamiento de la Tesis, al Dr. Pavel Kewin Delgado Sarmiento, mi asesor para la ejecución y culminación de la tesis, al Mg. Jorge Choquenaira Pari y Mg. Mariela Álvarez Cabeza personal del laboratorio de espectroscopia y cromatografía de la UNSACC, al Ing. Wilbert Villano Tárraga monitor de PROCENCIA por su guía en la parte administrativa; a la Dra. Julia Zea Álvarez por sus orientaciones muy acertadas para la conclusión de la tesis y a la Lic. Rosa Balvin Beltrán, secretaria de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales, de la escuela de Posgrado de la Universidad de San Agustín de Arequipa.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxiii
Introducción.....	xxv
OBJETIVOS.....	xxvii
<i>Objetivo general</i>	xxvii
<i>Objetivos Específicos</i>	xxvii
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. <i>Antecedentes</i>	1
1.2 <i>Bases teóricas</i>	7
1.2.1 <i>Agua</i>	7
1.1.1. <i>Metales pesados</i>	8
1.2 MARCO LEGAL.....	18
1.2.1 <i>Constitución política del Perú</i>	18
1.2.2 <i>(Ley general de salud, 1997)</i>	18
1.2.3. <i>Ley General Del Ambiente, Ley N.º 28611</i>	18
1.2.4 <i>DS N.º 002-2008-MINAM</i>	19
1.2.5 <i>(Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, 2009)</i>	20
1.2.6 <i>DS N°010-2010-MINAM</i>	21
1.3 <i>Tratamientos convencionales para la remoción de metales en agua</i>	21
1.4 <i>Adsorción</i>	22
1.4.1. <i>Cinética de adsorción</i>	23
1.5. <i>Isotermas de adsorción</i>	25
1.5.1. <i>Modelo de la isoterma de Langmuir</i>	26
1.5.2. <i>Modelo de la Isoterma de Freundlich</i>	27
1.6. <i>Bioadsorción</i>	27

1.6.1	<i>Clasificación de los bioadsorbentes</i>	29
1.6.2	<i>Mecanismos de bioadsorción</i>	29
1.6.3	<i>Factores que influyen la bioadsorción</i>	31
1.6.4	<i>Composición química del bioadsorbente</i>	31
1.7	Bioadsorbentes utilizados en este estudio	37
1.7.1	<i>Estípite de Pleurotus spp cultivado (EP)</i>	37
1.8.1	<i>Espectrofotometría de Absorción atómica</i>	42
1.9	Técnicas de análisis e interpretación de la información	45
2.1	Tipo y diseño de la investigación	46
2.2	Enfoque de la investigación	47
2.3	Unidad de estudio	47
2.4	Estrategia de recolección de datos	47
2.6	Materiales, reactivos y equipos	50
2.6.1	<i>Material de vidrio y otros</i>	50
2.6.2	<i>Equipos y aparatos</i>	50
2.6.3	Reactivos	50
2.7	Procedimiento experimental	51
2.7.1	<i>Muestreo y recolección de biomasa</i>	51
2.7.3	<i>Caracterización de los bioadsorbentes</i>	55
2.7.4	<i>Cuantificación en soluciones acuosas de metales Pb (II) y Cd usando la espectrofotometría de absorción atómica</i>	56
2.7.4.1	<i>Pruebas de Bioadsorción de Pb (II) y Cd utilizando los bioadsorbentes</i>	57
2.7.5	<i>Isotermas de adsorción</i>	60
2.7.6	<i>Estudio cinético</i>	62
2.8	<i>Técnicas de análisis e interpretación de la información</i>	65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
3.1	Preparación del bioadsorbente	68
3.1.1	<i>Preparación del bioadsorbente sin clorofila</i>	68

3.1.2 Preparación del bioadsorbente mediante un tratamiento ácido básico	69
3.2 Caracterización de los bioadsorbentes.....	71
3.2.1 Análisis proximal de los bioadsorbentes	71
3.2.3 Análisis de los bioadsorbentes por Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR).....	71
3.2.4 Espectros de los bioadsorbentes por Fluorescencia de RX	88
3.3 Evaluación del proceso de bioadsorción de plomo (II) y cadmio en sistema Bach	93
3.3.1 Efecto de la concentración del adsorbente.....	93
3.3.2 Efecto del pH para cadmio y plomo (II).....	102
3.3.3 Evaluación del estudio cinético.....	112
3.3.4 Isotermas de adsorción en equilibrio	134
3.4.2 Modelo matemático de Langmuir.....	139
3.4.3 Modelo matemático de Freundlich.....	142
3.5 Resultados estadísticos	147
CONCLUSIONES.....	156
RECOMENDACIONES	157
BIBLIOGRAFÍA	158
ANEXOS	186
I.Resultados detallados de la parte experimental generado en los diferentes procedimientos.....	186

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Detalla la concentración máxima permisible de Cd y Pb (II) en cuerpos de agua de acuerdo a distintas organizaciones internacionales y la del Perú.</i>	12
Tabla 2 <i>Resultados de Pb en sangre y Cd en orina en un muestreo de pobladores de Espinar-Cusco</i>	15
Tabla 3 <i>Resultado de calidad de aguas superficiales en Espinar</i>	16
Tabla 4 <i>Valores máximos admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado</i>	20
Tabla 5 <i>LMP Descarga de efluentes de actividades minero- metalúrgicas</i>	21
Tabla 6 <i>Parámetros y condiciones para optimizar la masa de <i>Minthostachys acris</i> (MA), <i>Clinopodium Bolivianum</i> (CB) y estípites de <i>Pleurotus spp</i> (EP).</i>	58
Tabla 7 <i>Parámetros y condiciones para optimizar el pH <i>Minthostachys acris</i> (MA), <i>Clinopodium Bolivianum</i> (CB) y estípites de <i>Pleurotus spp</i> (EP).</i>	59
Tabla 8 <i>Parámetros y condiciones para el estudio de las isotermas de MA (<i>Minthostachys acris</i>), CB (<i>Clinopodium bolivianum</i>), EP (estípites de <i>Pleurotus spp</i>).</i>	61
Tabla 9 <i>Parámetros y condiciones para el estudio cinético de MA (<i>Minthostachys acris</i>), CB (<i>Clinopodium bolivianum</i>), EP (Estípites de <i>Pleurotus spp</i>)</i>	64
Tabla 10 <i>parámetros y condiciones para la prueba de adsorción de MA (<i>Minthostachys acris</i>), CB (<i>Clinopodium bolivianum</i>), EP (Estípites de <i>Pleurotus spp</i>), en aguas residuales.</i>	67
Tabla 11 <i>Resultados de masa obtenida de <i>Minthostachys acris</i> (MA), <i>Clinopodium bolivianum</i>, estípites de <i>Pleurotus spp</i> cultivados (EP), después de cada tratamiento correspondiente</i>	70

Tabla 12 <i>Resultados del análisis proximal de Minthostachys acris (MA), Clinopodium bolivianum (CB), estípites de Pleurotus spp cultivados (EP)</i>	71
Tabla 13 <i>Bandas de absorción encontradas en los bioadsorbentes puros según las figuras 24,25 y 26</i>	73
Tabla 14 <i>Bandas de absorción de estípites de Pleurotus spp (EP) después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio</i>	81
Tabla 15 <i>Bandas de absorción de Clinopodium bolivianum (CB) después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio</i>	81
Tabla 16 <i>Bandas de absorción de Minthostachys acris (MA) después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio</i>	82
Tabla 17 <i>Bandas de absorción más importantes en los bioadsorbente EP, CB y MA después del tratamiento con soluciones acuosas de Pb (II) y Cd y grupos funcionales responsables de la unión del metal</i>	86
Tabla 18 <i>Modo de operación SOIL</i>	88
Tabla 19 <i>Resultados de los espectros de FRX de los bioadsorbentes puros y después del tratamiento con las soluciones acuosas de Pb (II) y Cd.</i>	92
Tabla 20 <i>Capacidad de adsorción de Minthotachys acris (MA) para cadmio en función de la masa</i>	94
Tabla 21 <i>Capacidad de adsorción de Clinopodium bolivianum (CB) en función de la masa para cadmio</i>	95
Tabla 22 <i>Capacidad de adsorción de estípites de Pleurotus spp (EP) en función de la masa para cadmio</i>	96

Tabla 23 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachys acris</i> (MA) en función de la masa para plomo.....	97
Tabla 24 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> para plomo (II) en función de la masa.....	98
Tabla 25 Capacidad de adsorción de estípites de <i>Pleurotus spp</i> para plomo (II) en función de la masa.....	99
Tabla 26 Masa optima de cada uno de los bioadsorbentes y la eficiencia de adsorción	100
Tabla 27 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachys acris</i> (MA) en función del pH para cadmio	103
Tabla 28 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) en función del pH para cadmio.....	104
Tabla 29 Capacidad de adsorción de estípites de <i>Pleurotus spp</i> cultivado (EP) en función del pH para Cd	104
Tabla 30 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachys acris</i> (MA) en función del pH para plomo (II).....	106
Tabla 31 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) para plomo (II) en función del pH	107
Tabla 32 Capacidad de adsorción de estípites de <i>Pleurotus spp</i> cultivado (PE) en función del pH para Pb (II)	108
Tabla 33 pH óptimo para plomo (II) y Cd.....	111
Tabla 34 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachys acris</i> (MA) en función del tiempo para cadmio.....	113

Tabla 35 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium boliviaum</i> (CB) en función del tiempo para cadmio	114
Tabla 36 Capacidad de adsorción de estípites de <i>Pleurotus spp</i> (EP) en función del tiempo para cadmio	115
Tabla 37 Capacidad de adsorción de <i>Minthotachys acris</i> en función del tiempo para Pb (II).....	116
Tabla 38 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) para plomo (II) en función del tiempo	117
Tabla 39 Capacidad de adsorción estípites de <i>Pleurotus spp</i> (EP) en función del tiempo para el plomo (II)	118
Tabla 40 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de MA para cadmio	124
Tabla 41 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de CB para Cd ...	125
Tabla 42 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de EP para Cd ..	127
Tabla 43 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de MA para plomo (II)	128
Tabla 44 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de CB para plomo (II)	130
Tabla 45 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de EP para plomo (II)	131
Tabla 46 Resultados de la cinética parámetros de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden.....	132

Tabla 47 <i>Porcentaje de remoción de Pb (II) y Cd de soluciones acuosas por MA, CB y EP</i>	135
Tabla 48 <i>Constantes específicas de los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich para los bioadsorbentes MA, CB y EP</i>	145
Tabla 49 <i>Contraste de hipótesis de Minthostachys acris (MA)</i>	147
Tabla 50 <i>Contraste de hipótesis de Clinopodium bolivianum (CB)</i>	147
Tabla 51 <i>Contraste hipótesis de estípites de Pleurotus spp cultivado (EP)</i>	148
Tabla 52 <i>Resultados de la caracterización de la muestra del agua real</i>	150
Tabla 53 <i>Resultados de la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes y el % A para Pb (II) y Cd de la muestra de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (primer tratamiento)</i>	151
Tabla 54 <i>Resultados de la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes y el %A para Pb (II) y Cd de la muestra de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad nacional San Antonio Abad del Cusco (segundo tratamiento)</i>	152
Tabla 55 <i>Porcentaje de remoción de los bioadsorbentes para Pb (II) y Cd de soluciones acuosas y de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad San Antonio Abad del Cusco.</i>	153
Tabla 56 <i>Porcentaje de remoción de los bioadsorbentes MA, CB y EP en comparación con otros bioadsorbentes</i>	153

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Variación de concentración de plomo en la cuenca Urubamba Vilcanota durante el monitoreo participativo de la calidad de agua realizado del 2 al 29 de setiembre del 2019</i>	16
Figura 2 <i>El plomo y cadmio en el grupo de los 10 más peligrosos para la salud pública</i>	18
Figura 3 <i>Clasificación de los tipos de isotermas en fase sólido-líquido</i>	25
Figura 4 <i>Componentes de la lignina</i>	32
Figura 5 <i>Estructura de la celulosa</i>	34
Figura 6 <i>Estructura primaria de la hemicelulosa</i>	34
Figura 7 <i>Quitina</i>	35
Figura 8 <i>Obtención del quitosano</i>	35
Figura 9 <i>Pleuran</i>	36
Figura 10 <i>Hongo Pleurotus spp cultivado</i>	38
Figura 11 <i>Minthotachys acris (MA)</i>	40
Figura 12 <i>Clinopodium bolivianum (CB)</i>	41
Figura 13 <i>Proceso de absorción atómica</i>	42
Figura 14 <i>Componentes básicos del espectrofotómetro de absorción atómica de llama</i> <i>Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)</i>	43
Figura 15 <i>Vibraciones deflexión y estiramiento</i>	44
Figura 16 <i>Flujo de diagrama de los procesos experimentales realizados</i>	49
Figura 17 <i>Ubicación geográfica de la comunidad Conchacalla</i>	51

Figura 18 <i>Ubicación geográfica de la comunidad Kallarrayan</i>	51
Figura 19 <i>Sistema de bloques para la obtención de los bioadsorbentes MA y CB.</i>	53
Figura 20 <i>Diagrama de bloques para el proceso de obtención del bioadsorbente estípites de hongo Pleurotus spp(EP)</i>	55
Figura 21 <i>Diagrama de bloques para la adsorción de Pb (II) y Cd de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco con MA, CB y EP</i>	67
Figura 22 <i>Diagrama de flujo de la obtención de Minthotachys acris (MA) con resultados</i>	68
Figura 23 <i>Diagrama de flujo de la obtención de Clinopodium bolivianum (CB), con resultados</i>	69
Figura 24 <i>Diagrama de flujo de la obtención de los estípites de Pleurotus spp (EP), con resultados.</i>	70
Figura 25 <i>Espectro FTIR de los estípites de Pleurotus spp cultivados (EP) con tratamiento acido-base(ab)</i>	72
Figura 26 <i>Espectro FTIR de Clinopodium bolivianum (CB)</i>	72
Figura 27 <i>Espectro FTIR de Minthostachys acris (MA)</i>	73
Figura 28 <i>Espectro FTIR de estípites de Pleurotus spp (EP)-Plomo (II)</i>	78
Figura 29 <i>Espectro FTIR de estípites de Pleurotus spp (EP) - cadmio</i>	78
Figura 30 <i>Espectro FTIR de Clinopodium bolivianum (CB) -plomo (II)</i>	79
Figura 31 <i>Espectro FTIR de Clinopodium bolivianum (CB)- cadmio</i>	79
Figura 32 <i>Espectro FTIR de Minthostachys acris (MA)- plomo (II)</i>	80

Figura 33 <i>Espectro FTIR de Minthostachys acris (MA)– cadmio</i>	80
Figura 34 <i>Espectros FTIR de EP (rosado), EP-Pb(verde) y EP -Cd (anaranjado)</i>	84
Figura 35 <i>Espectros FTIR de CB -rojo, CB-Pb azul y CB-Cd verde</i>	84
Figura 36 <i>Espectros FTIR de MA (rosado), MA -Pb(rojo) y MA-Cd(celeste)</i>	85
Figura 37 <i>Posibles interacciones de fragmentos de biopolímeros con los iones de plomo y cadmio</i>	87
Figura 38 <i>Posibles interacciones de los iones de Pb(II) y Cd con los bioadsorbentes EP, CB, MA</i>	87
Figura 39 <i>Espectro FRX de estípites de Pleurotus spp (EP)-puro con 2 disparos bean 1 y bean2</i>	88
Figura 40 <i>Espectro FRX de estípites de estípites de Pleurotus spp cultivado (EP)-Pb-Cd con 2 disparos bean 1 y bean 2</i>	89
Figura 41 <i>Espectro FRX de Clinopodium bolivianum (CB)-puro con 2 disparos bean 1 y bean 2</i>	90
Figura 42 <i>Espectro FRX de Clinopodium bolivianum (CB)-Pb-Cd con 2 disparos bean 1 y bean 2</i>	90
Figura 43 <i>Espectro FRX de Mithostachys acris (MA)-puro con 2 disparos bean 1 y bean 2</i>	91
Figura 44 <i>Espectro FRX de Mithostachys acris (MA)-Pb-Cd con 2 disparos bean 1 y bean 2</i>	92
Figura 45 <i>Capacidad de adsorción de Minthostachys acris</i>	94

Figura 46 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) en función de la masa para cadmio	95
Figura 47 Capacidad de adsorción de estípites de <i>Pleurotus spp</i> (EP) para Cadmio en función de la masa.....	96
Figura 48 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachy acris</i> (MA) en función de la masa para plomo (II)	97
Figura 49 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> CB en función de la masa para plomo (II)	98
Figura 50 Capacidad de adsorción de estípites <i>Pleurotus spp</i> en función de masa para plomo (II).....	99
Figura 51 Porcentaje de remoción plomo (II)y cadmio en función de la masa de los estípites de <i>Pleurotus spp</i> cultivado (EP).....	101
Figura 52 Porcentaje de remoción de plomo (II) y cadmio en función de la masa de <i>Minthostachis acris</i> y <i>Clinopodiun bolivianum</i>	101
Figura 53 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachys acris</i> (MA) en función del pH para cadmio (II).....	103
Figura 54 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) en función del pH para cadmio.....	104
Figura 55 Capacidad de adsorción de estípites <i>Pleurotus spp</i> cultivado (EP) en función del pH para cadmio	105
Figura 56 Diagrama de distribución de especies del cadmio en medio acuoso a 25°C	106
Figura 57 Capacidad de adsorción de <i>Minthostachys acris</i> (MA) en función del pH para plomo (II)	107

Figura 58 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) para Pb (II) en función del pH	108
Figura 59 Capacidad de adsorción de estípite de <i>Pleurotus spp</i> cultivado (EP) en función del pH para Pb (II)	109
Figura 60 Diagrama de distribución de especies del plomo	109
Figura 61 Porcentaje de remoción de Pb (II) y Cd en función del pH de <i>Mintostachys acris</i> (MA), <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) y estípite de <i>pleurotus spp</i> cultivado (EP).	111
Figura 62 Tiempo óptimo y % de remoción de cada uno de los bioadsorbentes para Pb (II) y Cd de soluciones acuosas	112
Figura 63 Capacidad de adsorción de <i>Mintostachys acris</i> (MA) en función del tiempo para cadmio	113
Figura 64 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) en función del tiempo para cadmio	114
Figura 65 Capacidad de adsorción estípite de <i>Pleurotus spp</i> (EP) en función del tiempo para cadmio	115
Figura 66 Capacidad de adsorción de <i>Mintostachys acris</i> (MA) para plomo (II) en función del tiempo	116
Figura 67 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium Bolivianum</i> (CB) para plomo (II) en función del tiempo	117
Figura 68 Capacidad de adsorción de estípite de <i>Pleurotus spp</i> (EP) para plomo (II) en función del tiempo	118
Figura 69 Ecuaciones de Bronsted y Lowry	120

Figura 70 Capacidad de adsorción de <i>Mintostachys acris</i> (MA) para Pb (II) y Cd (II) en función del tiempo	120
Figura 71 Capacidad de adsorción de <i>Clinopodium bolivianum</i> (CB) para Pb (II) y Cd en función del tiempo	121
Figura 72 Capacidad de adsorción de estípites de <i>Pleurotus spp</i> (EP) para Pb(II) y Cd(II) en función del tiempo.....	121
Figura 73 Modelo Cinético de pseudo primer orden de la adsorción de Cd por MA..	123
Figura 74 Modelo cinético de pseudo segundo orden de la adsorción de Cd por MA	123
Figura 75 Modelo de cinético de pseudo primer orden de adsorción de Cd por CB...	124
Figura 76 Modelo de cinético de pseudo segundo orden de adsorción de Cd por CB	125
Figura 77 Modelo cinético de pseudo segundo orden de adsorción de EP para Cd ...	126
Figura 78 Modelo cinético de pseudo primer orden de adsorción de EP para Cd.....	126
Figura 79 Modelo cinético de pseudo primer orden de MA para plomo (II)	127
Figura 80 Modelo Cinético de pseudo segundo orden de MA para plomo (II).....	128
Figura 81 Modelo Cinético de pseudo primer orden de CB para plomo (II).....	129
Figura 82 Modelo Cinético de pseudo segundo orden de CB para plomo (II)	129
Figura 83 Modelo de cinética de pseudo primer orden de EP para plomo (II)	130
Figura 84 Modelo de cinética de pseudo segundo orden de EP para plomo (II).....	130
Figura 85 <i>Mintostachys acris</i> (MA), <i>Clinopodium bolibianum</i> (CB) y estípites de <i>Pleurotus spp</i> cultivado(EP) C_i (concentración inicial de Pb(II) y Cd)	134
Figura 86 Isoterma de adsorción de MA para cadmio q_e (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). c_e (concentración de Cd en el equilibrio mg/L).....	136

Figura 87 <i>Isoterma de adsorción de CB para cadmio qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Cd en el equilibrio mg/L).....</i>	136
Figura 88 <i>Isoterma de adsorción de EP para cadmio que (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Cd en el equilibrio mg/L).....</i>	136
Figura 89 <i>Isoterma de adsorción de MA para Pb (II) qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Pb (II) en el equilibrio mg/L)</i>	137
Figura 90 <i>Isoterma de adsorción de CB para Pb (II) qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Pb (II) en el equilibrio mg/L)</i>	137
Figura 91 <i>Isoterma de adsorción de EP para Pb (II) qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Pb (II) en el equilibrio mg/L)</i>	138
Figura 92 <i>Isotermas de Langmuir y Freundlich que describen muchos autores</i>	138
Figura 93 <i>Isoterma de Langmuir MA-Cd</i>	139
Figura 94 <i>Isoterma de Langmuir CB-Cd.....</i>	140
Figura 95 <i>Isoterma de Langmuir EP-Cd</i>	140
Figura 96 <i>Isoterma de Langmuir de MA-Pb (II)</i>	141
Figura 97 <i>Isoterma de Langmuir de CB-Pb (II)</i>	141
Figura 98 <i>Isoterma de Langmuir de EP-Pb (II)</i>	141
Figura 99 <i>Isoterma de Freundlich de MA-Cd</i>	142
Figura 100 <i>Isoterma de Freundlich de CB-Cd</i>	142
Figura 101 <i>Isoterma de Freundlich de EP-Cd</i>	143
Figura 102 <i>Isoterma de Freundlich de MA-Pb (II)</i>	143
Figura 103 <i>Isoterma de Freundlich de CB-Pb (II).....</i>	144

Figura 104 *Isoterma de Freundlich de EP-Pb (II)* 144

RESUMEN

En esta investigación se realizó bioadsorción de plomo (II) y cadmio de soluciones acuosas y de aguas residuales utilizando 3 biomateriales de desecho y de bajo costo; *Minthostachys acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* (CB) y los estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP). Los experimentos se llevaron a cabo con una hidrólisis ácida [$C_2 H_5 OH$: $H N O_3$ (4:1)], seguida de una hidrólisis básica con NaOH 0.4N de los estípites de *Pleurotus spp* cultivado; y extracción de clorofila con $C_2 H_5 OH$ al 85% de pureza de *Minthostachys acris* y *Clinopodium bolivianum*. Los parámetros controlados fueron dosis de los bioadsorbentes, pH, tiempo de contacto y concentración inicial de cada uno de los metales; el proceso de adsorción se evaluó utilizando el método por lotes. Los resultados experimentales indicaron que, la capacidad de adsorción aumenta con disminución en la dosis de los biosorbentes; llegando a un valor de la capacidad de adsorción en el equilibrio(q_e), de 282.85mg/g y un % A de 95.20 para el sistema *Minthostachys acris* – plomo (II) y de 92.3mg/g y %A de 73.27 para *Minthostachys acris* - cadmio .Los sistemas *Clinopodium bolivianum* -plomo (II) y *Clinopodium bolivianum* -cadmio, llegaron a la capacidad de adsorción en el equilibrio(q_e) de 90.93mg/g y un %A de 90.33; y 72.25 mg/g y con %A de 73.20 respectivamente. Estos sistemas se evaluaron con dosis de 0.3g/L de cada bioadsorbente. El sistema estípites de *Pleurotus spp* -plomo (II) y estípites de *Pleurotus spp* -cadmio llegaron a la capacidad de adsorción de adsorción de equilibrio(q_e), de 277.52mg/g y %A de 91.27; y 163.375mg/g y con %A de 54.13 respectivamente. Estos sistemas se trabajaron con la dosis del bioadsorbente de 0.1g/L. Se observó que la remoción es mayor para el plomo (II) frente al cadmio en todos los sistemas. Los datos cinéticos se analizaron utilizando modelos cinéticos de pseudo primer y segundo orden, todos los sistemas se ajustaron al modelo de pseudo segundo orden, llegando a tener coeficientes de correlación a 1 o cercanos a la unidad en todos los sistemas estudiados. Los valores de la capacidad de adsorción en el equilibrio experimentales y calculados mediante los modelos matemáticos fueron bastante parecidos para la adsorción de plomo (II) y de cadmio por *Minthostachys acris* y *Clinopodium bolivianum*. Los valores de la capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) para la adsorción de plomo (II) y cadmio por estípites de *Pleurotus spp* cultivado tienen una diferencia un poco alejada. Los datos de equilibrio se ajustan al modelo de la isoterma de Freundlich. El sistema estípites de *pleurotus spp* cultivado -plomo (II) se analizó a pH de 5, los sistemas de adsorción de *Minthostachys acris*-plomo (II), *Clinopodium*

bolivianum -plomo (II), a pH 3; los sistemas *Minthostachys acris* -Cadmio, *Clinopodium bolivianum* -cadmio, y estípites de *Pleurotus spp* cultivado -cadmio a pH 6. Los datos experimentales se aplicaron a la prueba de Kruskal-Wallis, para los sistemas *Minthostachys acris* -cadmio, *Minthostachys acris* -plomo (II), *Clinopodium bolivianum* -cadmio, *Clinopodium bolivianum* -plomo (II) y estípites de *Pleurotus spp* cultivado -cadmio y estípites de *Pleurotus spp* cultivado -plomo (II), y se rechazaron la hipótesis nula, se encontró $P = 0.000 > \alpha = 0.05$, afirmando la diferencia significativa para las categorías estudiadas.

Los bioadsorbentes *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado fueron evaluados en las mismas condiciones experimentales para la adsorción de plomo (II) y cadmio de las aguas residuales del laboratorio químico de cromatografía y espectroscopia de la universidad San Antonio Abad del Cusco, donde se obtuvo 95.81, 95.55, 54.58 de %A para los sistemas *Minthostachys acris* -plomo (II), *Clinopodium bolivianum* -plomo(II) y estípites de *Pleurotus spp* cultivado -plomo(II) respectivamente. Los sistemas *Minthostachys acris* -cadmio, - *Clinopodium bolivianum* cadmio y estípites de *Pleurotus spp* cultivado -cadmio obtuvieron 57.71, 55.85 y 36.41 %A respectivamente, resultados muy favorables para utilizar los bioadsorbentes en la descontaminación de plomo (II) y cadmio de aguas residuales. Según la evaluación FT-IR de la pared celular de los bioadsorbentes tan heterogénea, por la presencia de grupos funcionales orgánicos (-COO-, OH, NH₂, -C-O-C-, CHO) son responsables de la captación de los iones metálicos de las soluciones acuosas, y se podría concluir que existe quimisorción, complejación (ácidos y bases de Lewis) e intercambio iónico estos resultados son corroborados con los espectros de FRX.

Palabras clave: bioadsorción, *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum*, estípites de *Pleurotus spp*, soluciones acuosas, aguas residuales, iones plomo (II) y Cadmio.

ABSTRACT

In this research, bioadsorption of lead (II) and cadmium from aqueous solutions and wastewater was performed using 3 low-cost waste biomaterials; *Minthostachys acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* (CB) and the stipes of cultivated *Pleurotus spp* (EP). The experiments were carried out with an acid hydrolysis [$C_2H_5OH:HNO_3$ (4:1)], followed by a basic hydrolysis with 0.4N NaOH N of the stipes of cultivated *Pleurotus spp*; and chlorophyll extraction with C_2H_5OH at 85% purity of *Minthostachys acris* and *Clinopodium bolivianum*. The controlled parameters were doses of the bioadsorbents, pH, contact time and initial concentration of each of the metals; The adsorption process was evaluated using the batch method. The experimental results indicated that the adsorption capacity increases with decreasing biosorbent dose; reaching a value of equilibrium adsorption capacity (q_e) of 282.85 mg/g and % A of 95.20 for the *Minthostachys acris* - lead (II) system and 92.3 mg/g and % A of 73.27 for *Minthostachys acris* - cadmium. The *Clinopodium bolivianum* - lead (II) and *Clinopodium bolivianum* - cadmium systems reached equilibrium adsorption capacities (q_e) of 90.93 mg/g and % A of 90.33; and 72.25 mg/g and % A of 73.20 respectively. These systems were evaluated with doses of 0.3 g/L of each bioadsorbent. The stipes of cultivated *Pleurotus spp* - lead (II) and stipes of cultivated *Pleurotus spp* - cadmium system reached the equilibrium adsorption capacity (q_e) of 277.52 mg/g and %A of 91.27; and 163.375 mg/g and %A of 54.13 respectively. These systems were worked with the bioadsorbent dose of 0.1 g/L. It was observed that the removal is greater for lead (II) compared to cadmium in all systems. The kinetic data were analyzed using pseudo first and second order kinetic models, all systems were adjusted to the pseudo second order model, reaching correlation coefficients of 1 or close to unity in all systems studied. The experimental and mathematically modelled equilibrium adsorption capacity values were quite similar for lead (II) and cadmium adsorption by *Minthostachys acris* and *Clinopodium bolivianum*. The equilibrium adsorption capacity (q_e) values for lead (II) and cadmium adsorption by cultivated *Pleurotus spp* stipes are slightly apart. The equilibrium data are fitted to the Freundlich isotherm model. The cultivated *Pleurotus spp* stipe-lead (II) system was analysed at pH 5, the *Minthostachys acris*-lead (II) and *Clinopodium bolivianum* -lead (II) adsorption systems at pH 3; the systems *Minthostachys acris* -cadmium, *Clinopodium bolivianum* - cadmium, and stipes of cultivated *Pleurotus spp* -cadmium at pH 6. The experimental data were applied to the Kruskal Wallis test, for the systems *Minthostachys acris* -

cadmium, *Minthostachys acris* -lead (II), *Clinopodium bolivianum* -cadmium, *Clinopodium bolivianum* -lead (II) and stipes of cultivated *Pleurotus spp* -cadmium and stipes of cultivated *Pleurotus spp* -lead (II), and the null hypothesis was rejected, $P = 0.000 > \alpha = 0.05$ was found, affirming the significant difference for the categories studied.

The bioadsorbents *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* and stipes of cultivated *Pleurotus spp* were evaluated under the same experimental conditions for the adsorption of lead (II) and cadmium from the wastewater of the chemical laboratory of chromatography and spectroscopy of the San Antonio Abad University of Cusco, where 95.81, 95.55 54.58 of %A were obtained for the systems *Minthostachys acris* -lead (II), *Clinopodium bolivianum* -lead (II) and stipes of cultivated *Pleurotus spp* -lead (II) respectively. The systems *Minthostachys acris* -cadmium, - *Clinopodium bolivianum* - cadmium and *Pleurotus spp. stipes cultivated* -cadmium obtained 57.71, 55.85 and 36.41 %A respectively, very favorable results to use the bioadsorbents in the decontamination of lead (II) and cadmium from wastewater. According to the FT-IR evaluation of the cell wall of the bioadsorbents so heterogeneous, by the presence of diverse organic functional groups (-COO-, OH, NH₂, -C-O-C-, CHO) are responsible for the capture of metallic ions from aqueous solutions, and it could be concluded that there is chemisorption, complexation (Lewis acids and bases) and ion exchange these results are corroborated with the FRX spectra.

Keywords: bioadsorption, *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum*, *Pleurotus spp* stipes, aqueous solutions, wastewater, Pb (II) and Cadmium ions

INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los principales problemas medioambientales es la existencia de contaminantes en los cuerpos de agua debido a la emisión de efluentes contaminados principalmente por metales pesados. Los metales pesados como, el plomo, cadmio, mercurio y otros; con frecuencia se utilizan en procesos industriales y son distribuidos ampliamente en el medio ambiente, siendo muy perjudicial para todo ser vivo incluso en bajas concentraciones; que se acumulan y forman una cadena alimentaria muy peligrosa porque estos metales son persistentes y no biodegradables.

Buscar alternativas para la eliminación y recuperación de metales pesados de las aguas residuales es importante en la protección del medio ambiente y la salud humana. Existen métodos fisicoquímicos disponibles para eliminar metales pesados como la sorción, precipitación química, osmosis inversa, electroquímica, etc. La adsorción de metales por biomateriales es de interés por el bajo costo, fácil manejo pese que en las investigaciones mayormente se realizan los estudios simulando en soluciones acuosas; se sigue estudiando probando en aguas residuales reales, por su efectividad.

La región del Cusco es una zona minera donde se practica la minería informal y también existe muchas concesiones, que no cumplen en su totalidad con las normas vigentes. Es muy preocupante que estudios del año 2019 revelan la contaminación de Cd en sangre y orina que están por encima de los valores permisibles por OMS de pobladores de Espinar. Por otro lado en la región del Cusco en estos últimos años se está dando importancia a los emprendimientos familiares como es el cultivo de forma artesanal de muchas especies de macro hongos convirtiéndose en microempresarios por que los productos los venden a los supermercados, mercados de cada localidad y tienen aceptación exitosa por su contenido proteico muy alto ; de esta manera hacen uso de un gran volumen de residuos agrícolas para el cultivo de estos hongos entre ellos la especie *Pleurotus spp* llamado “ostra” y llevando al mercado cantidades considerables. En el proceso de preparación para el expendio solo utilizan la parte del píleo(sombrero), parte superior y la parte inferior (estípites) lo desechan. Otro emprendimiento es la producción de aceites esenciales de *Minthostachys acris* (MA) de nombre común muña y *Clinopodium Bolivianun* (CB) llamado por los pobladores como cjuñuca, huñuca; existiendo empresas ya formalizadas; de todas estas actividades quedan residuos que prácticamente lo desechan. En este estudio conociendo la pared celular de los estípites del hongo *Pleurotus spp* cultivado (EP) muy rico en quitina además de otros

polisacáridos y; todo vegetal rico en, celulosa y hemicelulosa realizo la evaluación comparativa de la capacidad de adsorción de estos tres biomateriales para los metales de plomo(II) y cadmio de soluciones acuosas y de aguas residuales del laboratorio químico de espectroscopia y cromatografía de la universidad de San Antonio Abad del Cusco tomando como parámetros : la dosis de cada bioadsorbente, pH, tiempo de contacto y concentración de cada metal.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la capacidad de adsorción de plomo (II) y cadmio de aguas por *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado.

Objetivos Específicos

Caracterizar por métodos fisicoquímicos la estructura de los bioadsorbentes *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado.

Determinar la capacidad de adsorción de plomo (II) y cadmio de soluciones acuosas en función de la concentración de *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado.

Determinar la capacidad de adsorción de plomo (II) y cadmio de aguas en función del pH por *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado.

Determinar el % de remoción de plomo (II) y cadmio por los bioadsorbentes *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado en aguas residuales provenientes del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Yadav et al (2023) estudiaron la capacidad de micoremediación del micelio de *P. opuntiae* para Pb (II) en medio acuoso, encontraron una capacidad de adsorción de 24,59mg/g y la remoción del 99,08%. Para caracterizar el micelio utilizaron los espectros FTIR. Los grupos funcionales de la pared celular, como amidas, sulfhidrilo, carboxilo e hidroxilo fueron responsables de la interacción con el metal en la bioadsorción.

(Lavado Meza, De la Cruz Cerrón, Asencios, Francielle Candian, & Dávalos Prado, 2023) evaluaron las capacidades máximas de adsorción de Pb (II), utilizando residuos agrícolas de Coffee arábica (WCAM) y Theobroma-cacao (WCTM); y obtuvieron 303,0 y 223,1 mg/g, respectivamente, con una eficiencia de remoción del 90%, a un pH entre 4 y 5, la dosis de biosorbente fue de 2 g/L. Las técnicas utilizadas para la caracterización estructural, química y morfológica del biosorbente fueron FT-IR, SEM/EDX. Los datos experimentales se ajustaron a los modelos de la isoterma de Langmuir y la cinética de pseudo segundo orden para WCAM y WCTM, concluyendo que la adsorción de Pb (II) es un proceso de quimisorción.

(Mohamed Kaleem & Mumtaz, 2023) investigaron las características de *Scenedesmus sp.* como adsorbente para eliminación plomo y cadmio de soluciones acuosas. Utilizaron el método por lotes. El pH, el tiempo de contacto, la concentración inicial de iones metálicos y la dosis de adsorbente fueron los parámetros estudiados. El tiempo de equilibrio fue de 90 y 60 min para plomo y cadmio respectivamente, los porcentajes de remoción de 85% para plomo y 83 % para cadmio. Esta investigación se ajusta a la cinética de pseudo segundo orden y la isoterma de Langmuir, con capacidades de biosorción en monocapa de 102 y 128 mg /g, Para plomo y cadmio respectivamente. El FT-IR reveló la presencia de grupos hidroxilo y amina en la superficie del adsorbente. *Scenedesmus sp.* del Himalaya mostró ser una alternativa para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

(Rojas Felipe, Sánchez Araujo, Hinojosa Yzarra, Rivera Trucios, & Rodríguez Deza, 2023) realizaron la revisión de artículos científicos y tesis relacionados a la biosorción del plomo utilizando descriptores como “biosorción”, “quimisorción”, “*Nostoc commune*” “metales pesados”. Encontraron que la capacidad de adsorción está

comprendida entre 247,35 y 384,62 mg /g para Pb por *Nostoc commune*; y se ajustaron al modelo de Langmuir, el % de remoción encontrado fue entre 98,8 y 99,25. Consideran que el *Nostoc commune* es altamente eficiente para eliminar el plomo de aguas contaminadas, a través de grupos carboxilos e hidroxilos, azúcares reductores, saponinas y aminoácidos.

(Paccha Rufasto & Paccha Huamani, 2023) realizó revisión de la reutilización de residuos agroindustriales para procesos de adsorción y poder utilizar en aguas residuales como parte de la economía circular y concluye que serán las tendencias en los próximos años. El trabajo fue describir los procesos de adsorción con biosorbente no modificado, biosorbente precodificado, biosorbente con modificación química y física, y comparar la capacidad de adsorción que tienen las cáscaras provenientes de desechos agroindustriales para eliminar contaminantes en las aguas residuales. En los resultados obtenidos con los carbones de las cascaras de naranja, coco, arroz y castaña tienen una eficiente capacidad de adsorción de metales pesados, tintes, pesticidas y otros contaminantes.

(Lavado, 2021) investigo la capacidad de adsorción de *Nostoc commune* (NC) cianobacterias modificadas químicamente con NaOH (NCM), para soluciones acuosas con Pb y Cd. Encontraron que, la capacidad de adsorción en el equilibrio fue de 384,6 mg /g. Los experimentos se realizaron a pH 4,5 y 5,5 con 0,5 g / L de biomasa. La cinética sigue el modelo de pseudo segundo orden y la isoterma de Freundlich, indicando que la adsorción fue un proceso de quimisorción en superficies heterogénea con un rendimiento del 98% y de 64% para Pb y Cd respectivamente. La caracterización estructural y morfológica del bioadsorbente realizaron mediante FTIR y SEM/EDX.

(Vallejo Aguilar, y otros, 2021) en el trabajo experimental concluyen que el micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* tiene una gran capacidad para tolerar y eliminar los metales Pb, Cr y Cd, la capacidad de biosorción para Pb y Cr fueron las mejores, por lo que; se propone la utilización del micelio de esta cepa como un modelo de biorremediación específico para aguas residuales contaminadas con Pb. Este bioadsorbente tiene ventajas como costo bajo, efectivo y reciclable.

(Mancipe Calderón & Arias Rodríguez, 2020) en la investigación comparan micelios de *Pleurotus ostreatus*, *Lentinus edodes*, *Aspergillus terreus* y *Flammulina velutipes*, identificaron que el *Pleurotus ostreatus* adsorbe a concentraciones bajas de

Pb como de 0.3 ppm en efluentes de aguas residuales. Los parámetros de estudio fueron pH 5, tiempo de contacto 120 minutos. La remoción a 10 ppm Hg (II) fue de 52,52%, con 5ppm de Pb (II) fue de 99%; y a 50 ppm de Pb fue de 86 %. Los resultados de FTIR mostraron la presencia de varios picos de absorción característicos que corresponden a grupos funcionales presentes en la pared celular del hongo, como hidroxilo, amidas, carboxilo y sulfhídrido.

(Eliescu, y otros, 2020) investigaron *Pleurotus ostreatus* y su sustrato gastado, para la biosorción de Pb de soluciones acuosas por métodos discontinuos y dinámicos. Los parámetros de sorción fueron (120 minutos de contacto a 150rpm, sustrato gastado 0,1g/100mL y temperatura 25°C), se encontró que el sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus* tiene una mayor capacidad de adsorción (85,91 mg/g) que las esporas originales de *Pleurotus ostreatus* (57,73 mg/g). Para la caracterización completa, de los bioadsorbentes se realizaron análisis de microscopía electrónica de barrido – espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDX), (FTIR) y difracción de rayos X (DRX). La biomasa del sustrato gastado (POBM) se utilizó para eliminar Pb de aguas residuales reales en un sistema continuo en el que 1 g de biomasa permitió la purificación de 2,4 L de agua contaminada con plomo con una eficiencia del 93%, lo que confirmaron la idoneidad de este bioadsorbente para aplicaciones a gran escala.

(Pérez Sáez, 2020) los residuos agroindustriales y urbanos demostraron la capacidad de remover contaminantes en aguas. Encontraron que algunos materiales de diferentes orígenes fueron capaces de remover contaminantes inorgánicos como los metales pesados. Se consiguió eliminar cadmio en aguas a partir de desechos procedentes de la industria alimentaria, lodos residuales de la industria papelera y residuos de la industria cervecera. Por otra parte, los desechos agrícolas han demostrado ser capaces de remover un amplio abanico de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos eficazmente.

(Cabrera Choccata, 2018) evaluó la capacidad de adsorción y la eficiencia de remoción de Pb (II) en solución simulada utilizando tallo de rosas como biosorbente, realizó activación con hidrólisis ácida seguido de hidrólisis básica. El pH óptimo fue de 4, sigue el modelo de la isoterma de Langmuir con una máxima capacidad de adsorción (Q_{max}) de 344,8276 mg Pb (II)/g de tallo de rosa, con 0.05 g de biomasa y un tiempo de contacto de 60 min. Asimismo, la cinética, se ajustó al modelo de pseudo segundo orden, coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9960$.

(Hernández Gómez, Garzón Gutiérrez, La Rotta La Rotta, & Guerra Rodríguez, 2018) realizan trabajos de capacidad de adsorción de Pb (II) en soluciones sintéticas, utilizando elodea (*Egeria densa*), vaina de arveja y borra de café, encontraron que a pH 4 la elodea y la vaina de arveja presentaron mayor eficiencia de remoción de iones Pb (II) con un 91% y 72,6% respectivamente. La concentración óptima la elodea y la vaina de arveja fue de 20mg/L, presentando una mejor remoción la elodea con un 97,99% frente al 93,63% de la vaina de arveja.

(Lagos Estrella, 2017) investigo la remoción de metales pesados presentes en el agua (cadmio, hierro y plomo) por medio de *Moringa oleífera* (MO). Para esto se prepararon diversas soluciones de Cd, Fe y Pb. Los parámetros: pH 4 a 6; tiempo de contacto 0 a 60 min; dosis de MO 2 g/L; concentración inicial de iones Cd 0,2 a 1 mg/L, Fe 1 a 5 mg/L, y Pb 2 a 10 mg/L. En estas condiciones se encontró que la capacidad de adsorción en el equilibrio, para Cd fue de 0,106 mg/g (95,6% de remoción), 1,850 mg/g para Fe (90,4%) y 1,156 mg /g para Pb (97% de remoción).

(Yang, y otros, 2017) encontraron que el hongo *Pleurotus ostreatus* Haas puede tolerar y eliminar los metales pesados del agua. La adsorción de Pb fue del 99,9 %, Cd del 45,9% y para Cr del 29,4%. Estos resultados revelaron que esta especie de hongo tiene una variedad de mecanismos de respuesta a la presencia de metales pesados en solución.

(Valladares y otros, 2017) presentan una revisión sobre los adsorbentes no-convencionales (biopolímeros o partes de plantas); no necesariamente activadas; sin embargo, su activación mejora su capacidad de adsorción. Este trabajo de revisión surge como una alternativa en el diseño de procesos sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, y permita reducir la carga orgánica de un efluente contaminado con metales, colorantes, pesticidas y algunos otros compuestos orgánicos denominados emergentes.

(Asnaoui, Laaziri, & Khalis, 2015) realizaron experimentos por lotes para estudiar la adsorción de cadmio de solución acuosa con biomasa de algas. Fueron evaluados la dosis del adsorbente, tiempo de contacto, pH de la solución y temperatura. Los resultados mostraron que los procesos de biosorción de Cd (II) siguieron la cinética de pseudosegundo orden y el modelo de Langmuir. Encontraron que la capacidad de biosorción de cadmio de la biomasa de *Ulva lactuca* fue de 3,02 mg/g a un pH de 5, 60 min de tiempo de contacto, y 20 °C. Los resultados indican que el alga *Ulva lactuca*

podría emplearse como un material de bajo costo para la eliminación de iones metálicos de una solución acuosa.

(Fernández Bernaola, 2015) investigó la adsorción de plomo (II) de soluciones acuosas utilizando el cactus gigante (*Trichocereus cuzcoensis*). El tratamiento se realizó mediante la técnica por lotes (Batch), evaluó dos adsorbentes obtenidos a partir del cactus (Adsorbente con clorofila - ACC y Adsorbente sin clorofila - ASC). Estudió el efecto de la concentración de la biomasa obteniéndose una mayor capacidad de adsorción a la menor dosis (0.1 g/L), la capacidad de adsorción fue de 205,40 mg/g y 160,90 mg/g para el ASC y ACC respectivamente. La cinética fue descrita por el modelo de pseudo segundo orden. Obteniéndose velocidades de adsorción altas, 294,12 mg/g min y 1111,11 mg/g min para el ACC y ASC respectivamente, se concluye el proceso de adsorción se realiza en sistemas heterogéneos.

(Tejada, Ruiz, Gallo Mercado, & Bohórquez, 2015) proponen la adsorción de Pb (II), de un desecho agroindustrial, bagazo de palma, activado con ácido cítrico; de la región del Caribe de Colombia. Evaluaron por sistema Batch con soluciones de 100 ppm de Pb (II), la concentración final del metal se midió por absorción atómica. La caracterización de los adsorbentes se hizo por FTIR encontrando que los grupos hidroxilos y carboxílicos son los responsables de la capacidad de adsorción. Se trabajó a pH 6. Los primeros 10 minutos la adsorción es rápida, siendo el modelo de Elovich el de mejor ajuste. La capacidad máxima de adsorción según la isoterma de Langmuir fue de 162 y 451 mg/g para el bagazo de palma sin modificar y modificado respectivamente.

(Marín y otros, 2015) en esta investigación, utilizaron tres cepas del micelio del hongo de *Pleurotus spp*, cultivados en residuos agrícolas. Evaluaron las isotermas de adsorción de cobre y cadmio en soluciones de laboratorio. La biomasa micelial pudo adsorber en promedio 90 % de la solución creando expectativas para su utilización en aguas residuales.

(Shuhong, Meiping, Hong, Wang Han, & Liu Yan, 2014) investigaron la influencia del pH y la concentración de los exopolisacáridos de *Arthobacter ps-5*, mostraron la capacidad de adsorción de 169,15mg/g para Cu (II), 216,09mg/g para, Pb (II) y 84,47mg/g de Cr (VI). Los análisis espectroscópicos de Infrarrojo demostraron que los grupos funcionales de O-H, C=O, C-O-C y C=O-C de los exopolisacáridos están involucrados en los procesos de adsorción de los iones metálicos.

(Joo, A., Hussein, & Hassan, 2011) En este estudio, las células liofilizadas de *Pleurotus eryngii* (hongo), adsorbieron Cd (II) y Pb (II) de soluciones acuosas. Se considero, el pH de 2 a 7, concentración inicial del metal (50-300 mg /L), biomasa fúngica (0,05 a 0,35 g/L) y el tiempo de contacto (0 a 120 min). El pH óptimo para la adsorción de Cd (II) y Pb (II) fue 6 y el tiempo de contacto fue de 45 min a temperatura ambiente. La espectroscópica de infrarrojos fue la técnica para caracterizar los grupos funcionales orgánicos del bioadsorbente. Se ajustaron a las isothermas de Freundlich y Langmuir, obteniendo como capacidad máxima de 82,0 y 16,13 mg/ g, para Pb (II) y Cd respectivamente, con un coeficiente de correlación de ($R^2 > 0,99$). Finalmente concluyen que *P. eryngii* es un biosorbente eficaz para la eliminación de Cd (II) y Pb (II) de soluciones acuosas.

(Liew, Yong, & Abdul-Talib, 2010) en esta investigación evaluaron que la biosorción de Pb (II) de soluciones acuosas por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* a condiciones de pH (3 a 8), tiempo de contacto (0.5 a 60 minutos) y concentración de biomasa (0.1 a 0.6 g/L). A la concentración del metal de 10, 30,50,60,80 y 100mg/L; encontraron los % de remoción de 90,88,85,81,79 y 80%, respectivamente. La capacidad de adsorción en el equilibrio fue de 4,6mg/g; a las condiciones de 10 mg/L de Pb, 0,5g de masa del bioadsorbente y a pH de 5.

(Pacheco Tanaka & Roque, 2010) estudiaron la biomasa residual del café, químicamente modificada, para evaluar la adsorción y la cinética de los iones plomo (II) y cadmio (II) de soluciones acuosas por el proceso de Batch. Experimentalmente el biosorbente modificado tiene preferencia por el ion plomo (II) frente al ion cadmio (II). El proceso se ajusta al modelo cinético de pseudo primer orden.

(Sari & Tuzen, 2009) investigaron las características de biosorción de los iones Pb (II) y Cd (II) de solución acuosa utilizando biomasa del macrohongo (*Amanita rubescens*) en función del pH, la dosis de biomasa, el tiempo de contacto y la temperatura. El modelo de Langmuir se ajustó mejor. La capacidad máxima de biosorción de *A. rubescens* para Pb (II) y Cd (II) fue de 38,4 y 27,3 mg/g, respectivamente, en condiciones óptimas de pH 5,0, tiempo de contacto de 30 min, dosis de biomasa de 4 g/L, y temperatura de 20 °C. Los resultados mostraron que, Pb (II) y Cd (II) siguieron la cinética de pseudo segundo orden. Los resultados, concluyeron que el biosorbente puede ser una alternativa para el tratamiento de aguas residuales con iones Pb (II) y Cd (II),

Vimala, R. y Nilanjana, D. (2009) evaluaron la capacidad de absorción del hongo ostra (*Pleurotus platypus*), el champiñón (*Agaricus bisporus*) y el hongo lechoso (*Calocybe indica*) en soluciones acuosas de Cd y Pb (II). Las condiciones óptimas de sorción se estudiaron por separado; el pH fue de 6,0 para cadmio (II) y de 5,0 para plomo (II), en los tres hongos. La concentración inicial en ambos metales fue de 10 ppm y el tiempo de contacto optimo fue de 4 horas a una temperatura de 28°C. Se observó que el porcentaje de eliminación de ambos metales aumentaba con el incremento de la dosis del biosorbente y del tiempo de contacto. La dosis utilizada de los hongos fue de 4g/L para *P. platypus* C., de 3g/L para *A. bisporus*, y de 5,5g/L para *C. indica* de 5,5g/L. Se encontró que el modelo de Langmuir fue más adecuado en la biosorción de iones cadmio (II) y plomo (II), para los tres hongos. *Pleurotus platypus* mostró el mayor potencial de adsorción para cadmio (q_{max} de 34,96 mg/g), mientras que *A. bisporus* para plomo (II) con $q_{(max)}$ 33,78 mg/g). El hongo lechoso mostró la menor capacidad de absorción para ambos metales. Los datos actuales confirman que los hongos pueden usarse como biosorbentes eficientes para la eliminación de iones de cadmio (II) y plomo (II) de una solución acuosa.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Agua

El agua cumple un papel vital para el equilibrio y funcionamiento adecuado de los ecosistemas en la Tierra. El derecho al agua aún no está reconocido como un derecho humano independiente en los tratados internacionales. Las normas internacionales de derechos humanos establecen obligaciones específicas en relación con la disponibilidad del agua potable. También exigen la seguridad con una mejora continua del acceso a servicios de saneamiento adecuados, como elemento prioritario y fundamental de la dignidad humana. Se considera también que se proteja la calidad de los suministros y los recursos de agua potable (ONU, 2006)

Es preocupante que a nivel del mundo el agua en estos últimos años tiende a la escasez muy rápida, por la contaminación de los cuerpos de agua según a siete fuentes importantes, como: aguas residuales domésticas, industrialización, crecimiento poblacional, pesticidas y fertilizantes, bolsas plásticas y de polietileno, urbanización y un sistema de gestión desconocido o presente de una forma inadecuada (Rajindar, 1976) . Tanto el agua, como el suelo se ven afectados por la actividad de minería formal e

informal y sus residuos, que contamina irreversiblemente a largo plazo los ecosistemas cercanos de las operaciones mineras, e indirectamente a ecosistemas más alejados que, por los ciclos naturales; como lluvias, migraciones de animales, etc., también reciben esta contaminación. En estas últimas décadas están presentes como contaminantes de naturaleza orgánica los productos farmacéuticos en aguas residuales. (Peng Y. et al; 2018)

1.1.1. Metales pesados

Desde el punto de vista de la salud pública, metal pesado se refiere a un metal o semimetal que tiene el potencial de causar toxicidad humana o ambiental (World health organization, 2014) Los metales pesados son tóxicos en concentraciones bajas, son bioacumulables y no son biodegradables. Algunos de estos elementos son Aluminio (Al), Berilio (Be), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y plomo (Pb) entre otros. Se extraen de yacimientos mineros y se utilizan para fabricar todo tipo de productos de uso cotidiano.

1.1.1.1.Fuentes de metales pesados

Los metales pesados, existen en forma natural y también son contaminantes del agua, del suelo y aire por acción antropogénica. La geología de la región Espinar, departamento del Cusco según la evaluación de (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico , 2013) agrupa en tres dominios: La cadena de cerros de Tintaya y alrededores, caracterizada por la presencia de calizas de la Formación Ferro Bamba y areniscas de la Formación Hualhuani, y de las rocas intrusivas (gabros, dioritas, monzonitas y dacitas),y los clasifica como responsables de la mineralización de Tintaya, Ccorocohuayco, Antapaccay y Quechua, que contienen minerales Cu, Au y Mo; y de minerales de Mn, As, Pb, Bi, Sb y Cd. También esta evaluación concluye que en la zona existe alta influencia de las características geológicas en la calidad del agua y esta, determina la presencia de los metales pesados.

El cadmio es usado en la industria para la fabricación de baterías de níquel-cadmio, agentes anticorrosivos y pigmentos. El plomo es liberado al ambiente debido a los procesos de la industria minera y la quema de combustibles fósiles, está involucrado en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos y dispositivos para la protección contra los rayos X. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible/control y monitoreo , 2017)

Los riesgos de liberación de los componentes de pilas, baterías y equipos electrónicos están protegidos en algunas ocasiones por normas exigidas por entidades correspondientes y cumplen la protección de la salud. Pero cuando no se siguen las condiciones ambientales planificadas, quedan expuestos a procesos de deterioro que llegan a la destrucción, liberando sus componentes peligrosos al ambiente. (RAEE, 2013)

Los productos como termómetros, tensiómetros suelen continuar la misma ruta que los otros residuos domésticos; son recolectados y enviados a un relleno sanitario o bien ingresan a circuitos informales de disposición como basurales a cielo abierto, incineraciones ilegales, enterramientos clandestinos o arrojados a cursos de agua., entrando a un circuito de disposición informal, donde, los metales pesados continúan su ruta con los líquidos lixiviados generados por los residuos y se dirigen hacia cursos de agua superficiales y subterráneos. Aún en el caso de rellenos sanitarios que se disponen de tecnología para el tratamiento de lixiviados y gases, los metales pesados por estar al estado iónico no son atrapados eficientemente, entorpece así los tratamientos biológicos. (Greenpeace, 2010)

1.1.1.2.Plomo

El plomo es un metal gris, blando y maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre. En forma de Pb^{2+} se une a los grupos sulfhídrico de las proteínas. Su uso en general tiene impacto en la contaminación ambiental, generando graves problemas de salud pública. Entre las fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, metalurgia y el uso persistente de pinturas, gasolinas y aditivos; otros usos en la fabricación de acumuladores (baterías), fabricación de forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones, estos usos hacen que el plomo ese encuentre disponible , especialmente en cuerpos de agua, y por su alta toxicidad para el ser humano y diversos microorganismos, su eliminación es importante y de especial cuidado. Según la (Organización Mundial de la Salud, 2013)), indican que en niños la exposición al plomo causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual. Según la agencia de protección ambiental de estados unidos. (EPA , 2023)establece como niveles permisibles para consumo de agua potable es de 0,01ppm de plomo y un valor máximo de 0,015ppm.

1.1.1.3.Cadmio

El cadmio, es un metal de color blanco brillante, dúctil, maleable y resistente a la corrosión, esta propiedad hace que, se utilice para electrodeposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro.

Los principales usos y exposición son: a) Industria del Zn y extracción del Cd a partir de sus residuos b) Cadmiado de metales c) Aleaciones con acero, Zn y Cu; d) Pigmentos para pinturas e) Industria atómica f) Industria del plástico g) Fabricación de células solares, etc. El cadmio en el aire proviene de la combustión de combustibles fósiles como el carbón o el petróleo y la incineración de los residuos municipales.

La industria de las fundiciones de zinc, plomo, cobre y otros metales, emiten cadmio a la atmosfera y es depositado en las aguas superficiales, representado el 23% de contaminante, Actualmente, el contenido de cadmio en las aguas destinadas a consumo humano tiene el límite máximo 0,003 mg/L (MINAM 2015). Las plantas, incluidos muchos cultivos con fines alimentarios, como los cereales, el trigo, el arroz, las patatas y semillas diversas absorben cadmio del suelo (Wood, AL, 1996)

Los minerales de metales no ferrosos son fuente principal de liberación de cadmio a los cuerpos de agua, provenientes de las diferentes operaciones de minería. la contaminación puede provenir del agua de drenado de minas, de las aguas residuales del procesamiento de los minerales, (Gil Hurtado, 2020).. La concentración de Cd en los ríos

Es de (10 a 500 mg/L), unido generalmente a material particulado. El Cd. puede estar en diversas especies químicas, por ejemplo, agua dulce puede estar como ion libre y si las aguas son alcalinas se encuentra como carbonato. En el mar, por el contenido alto de sal, se compleja con el cloro aumentando a medida que aumenta el contenido de sal. En los ríos, la concentración de cadmio disuelto es relativamente alta (10 a 500 mg/L) encontrándose generalmente unido a material particulado. (Gil Hurtado, 2020)

1.1.2 Efectos en la salud de cadmio y plomo (II)

El año 1999 el cadmio fue clasificado como carcinógeno humano de categoría I, por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). El cadmio produce daño biológico al inhibir los grupos sulfhidrilo (SH) que intervienen en la mayoría de los procesos enzimáticos del organismo humano. El cadmio desplaza al zinc en muchas

metaloenzimas, y muchos de los síntomas de la toxicidad del cadmio pueden atribuirse a una deficiencia de zinc inducida por el cadmio (WHO 2014)

El cadmio ingresa al organismo a través de los pulmones, del sistema digestivo o de la piel. La gran parte se deposita en el hígado y principalmente en los riñones produciendo enfermedades crónicas, su exceso puede causar la muerte.

El plomo afecta principalmente al sistema nervioso, más en niños que en adultos. La exposición al plomo causa alteraciones y funciones del sistema nervioso, produce debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos; puede producir anemia. (González Balaguer & Rojas Farías, 2008)

El plomo se encuentre en la sangre y se va depositando en los tejidos, Mientras que el plomo tiene una tasa de permanencia en el hígado y riñón de semanas a meses, en el hueso es retenido durante años, reflejándose de esta forma la exposición aguda y crónica (García Fernández & Navas Ruiz, 2019)

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS, 2007) ha determinado que el plomo y sus componentes son carcinogénicos en seres humanos basado en evidencia de estudios en seres humanos y en animales (Agencia para sustancias tóxicas Y el registro de enfermedades ATSDR). La EPA y los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) coinciden en que no se conoce un nivel de plomo en la sangre de un niño que no sea peligroso. El plomo es peligroso para la salud, especialmente en los niños. La (EPA, 2023) determinó que el objetivo de nivel máximo de contaminante (MCLG, por sus siglas en inglés). para el plomo en el agua potable es cero (Tabla 1), ya que el plomo es un metal tóxico que puede dañar la salud humana, incluso en niveles de baja exposición. El plomo es persistente y puede bioacumularse en el cuerpo con el tiempo. (EPA, 2023) estima que el agua potable representa el 20 % o más del total de la exposición al plomo de una persona. Los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) recomiendan que se inicien acciones de salud pública cuando en un niño el nivel de plomo en la sangre sea de 5 microgramos por decilitro ($\mu\text{g}/\text{dl}$) o más.

Tabla 1 Detalla la concentración máxima permisible de Cd y Pb (II) en cuerpos de agua de acuerdo a distintas organizaciones internacionales y la del Perú.

Metal	DS N. ° 004 2017 MINAM mg/L	WHO mg/L	USEPA MCLG mg/L	MCL mg/L	Efecto en la salud
Cd	0,01	0,003	0,005	0,005	Causa daños irreversibles a varios sistemas biológicos, incluso a baja concentración, como: insuficiencia pulmonar, trastornos renales y hepáticos, daño óseo, cáncer, hipertensión y efectos nefrotóxicos. EPA,2023
Pb (II)	0,05	0,01	0	0,0015	Mutaciones genéticas y debido al daño genético, anemia, daño cerebral, deficiencia mental, anorexia, encefalopatía, deterioro cognitivo, daño del sistema renal y circulatorio, vómitos, insomnio, dolor de cabeza, mareos, debilidad de los músculos, irritabilidad y alucinaciones. EPA,2023.

MINAM (Ministerio Nacional del Ambiente), WHO (World Health Organization) USEPA (Unidad States Environmental Protection Agency), MCLG (Meta Máxima del Nivel Máximo de Contaminante). MCL (Nivel Máximo de Contaminante)

Según los resultados de la tabla 1 lo más resaltante es la concentración de plomo (II) según United States Environmental Protection Agency United States Environmental Protection Agency (USEPA) es cero, frente a las otras organizaciones como el Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM) de nuestro país que la concentración máxima permisible en agua es de 0.05mg/L.

1.1.3 Metales pesados y salud publica en Perú

Las provincias de Espinar, Chumbivilcas del departamento del Cusco y otros departamentos, tienen importantes proyectos mineros, quienes no gestionan todos los residuos de las operaciones mineras adecuadamente causando un impacto ambiental y deterioro de salud en la población de las comunidades aledañas (DIRESA , 2013). La tecnología utilizada en las actividades mineras, tienen modernidad, aun así; queda un potencial riesgo de fugas fortuitas afectando la salud en los distintos niveles (Janis, M., Veiga, Shoveller, & Scoble, 2011)

El proceso de salud es continuo en el tiempo de generación en generación. Muchos procesos son tan largos en el tiempo para nuestra escala de vida, y serán percibidos en las generaciones siguientes, (Sánchez, Domínguez, León, Samaniego, & SunkelOswaldo, 2019)

La minería es la actividad más peligrosa en el mundo, tanto en términos de lesiones como muertes a corto plazo. Asimismo, la minería produce impactos de largo plazo en la salud, tales como cáncer y enfermedades respiratorias como la silicosis, asbestosis y neumoconiosis. De igual manera la anemia, desnutrición aguda y crónica hace más vulnerable a las personas que se exponen a metales pesados tóxicos (Goyer, 1997)

La pandemia del COVID-19 impactó, y pudo ver con claridad el sistema débil y fragmentado de salud pública, con la desigualdad en el acceso al derecho a la salud, y de agua segura. De acuerdo con la Estrategia Sanitaria Nacional de Atención a Personas Afectadas por Contaminación con Metales Pesados y otras Sustancias Químicas el Ministerio de Salud refiere a la provincia de Espinar una zona afectada con una población que vive en riesgo por exposición a metales y otras sustancias tóxicas. Según amnistía internacional las comunidades Huano Huano, Pacopata, Huini Coroccohuayco, Alto Huancané, Huancané Bajo, Tintaya Marquiri, Alto Huarca, Cala Cala, Huarca, Huisa Ccollana y Huisa son las más afectadas por la calidad de agua que se consume por estar cercanas a las operaciones mineras, existiendo suficientes evidencias sobre los daños a la salud relacionados a la exposición de plomo, arsénico, cadmio, mercurio y manganeso (Amnistía internacional , 2021).

La evaluación de 165 puntos de muestreo resultó 266 determinaciones analíticas. De estas, 64 determinaciones corresponden a metales pesados, lo que equivale al 0.56% del total, De los 64 puntos el 46.87% (30 de ellos) corresponden al componente de agua para consumo humano, existiendo riesgo sanitario.

CENSOPAS(Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud), publico dos estudios, el 2010 y 2013, cuyas deficiencias fueron descritas como “Estado Tóxico” a las poblaciones de Alto Huancané, Huisa y Huisa Collana por estar expuestas a metales y sustancias tóxicas, y se solicitó gestionar y planificar una estrategia integral de salud pública y ambiental; que fueron incumplidas(RGN°0257-2021-GRSC/OGRH) y como resultado del incumplimiento se ven los resultados de cadmio y plomo en sangre de los pobladores en la tabla 2. (N° 0257-2021-GRSC/OGRH, 2023-2024)

El 2016 en un estudio en la provincia de Espinar departamento de Cusco de 506 personas se obtuvieron 492 muestras, con presencia de metales. En sangre es de 20 µg Pb/dL (adultos), 10 µg Pb/dL (niños), cadmio en orina < 2 µg Cd/g creatinina, Arsénico en orina < 20 µg As/g creatinina y mercurio en orina < 5 µg Hg/g. Para cadmio 11 personas mostraron resultados por encima de los límites permisibles. El valor más alto encontrado fue de 5.28 µg cd/g creatinina, siendo más del doble del límite biológico. Conforme a las guías de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por mercurio, cadmio, arsénico y plomo, aprobadas respectivamente por las Resoluciones Ministeriales N° 757-2013-MINSA, 389- 2011-MINSA, y 511-2007-MINSA, estas personas fueron casos probables de intoxicación crónica para los respectivos metales, relacionada a una serie de patologías graves y hasta mortales, y correspondió realizar los estudios y evaluaciones médicas especializadas para confirmar o descartar la intoxicación y envenenamiento por los metales pesados estudiados. Este riesgo es corroborado por CENSOPAS, (Osore Plenge, 2016)

Una investigación realizada en la comunidad de Pallpata- Espinar – Cusco, con un tamaño de muestra de 45 personas seleccionadas por muestreo aleatorio, se encontró un rango muy elevado de intoxicación por arsénico de 335,9 µg/g de creatinina. Así mismo otro rango mayor es de una persona identificado con cadmio 18,85 microgramos Cd/g creatinina, y de mercurio que es de 6,95 µg/g de creatinina. No se presentó casos positivos de intoxicación de plomo (Guzmán Huamán, 2019)

El estudio de investigación con 150 personas voluntarias de las comunidades de Espinar un 78 % (117 personas) presentaron niveles de metales y sustancias tóxicas por encima de los valores de referencia, representando un riesgo para su salud. (Guevara, 2021) La tabla 2 muestra estos resultados.

Tabla 2 Resultados de Pb en sangre y Cd en orina en un muestreo de pobladores de Espinar-Cusco

Valores referenciales		Plomo en sangre			
		Código	Genero	Edad	Pb($\mu\text{g/dL}$)
Estados Unidos	MINSAs RM				
Unión Europea	400-2017				
5 $\mu\text{g/dL}$	10 $\mu\text{g/dL}$ niños y	050HD	M	56	8,5
en niños y	mujeres gestantes	147TM	M	50	5,6
adultos	20 $\mu\text{g/dL}$ para	025HC	F	52	11,5
	adultos	051HC	F	50	12,2
		Cadmio en orina			
		Código	Genero	Edad	Cd($\mu\text{g/dL}$)
	MINSAs RM				
	757-2013				
		015AE	M	47	1,6
		037TM	M	61	1,9
1 $\mu\text{g/dL}$	1 $\mu\text{g/dL}$	0458E	F	59	3,3
		016AE	F	47	1,2
		10STM	F	28	1,4
		066TM	F	57	3,2

Fuente. Guevara E, 2021

Los resultados de la tabla 2 muestran los análisis de plomo realizados el 2017 a pobladores de Espinar en sangre se encuentran por debajo de los valores referenciales según el Ministerio de salud (MINSAs), pero el análisis realizado de cadmio el 2013 en orina si están por encima de los valores referenciales según el MINSAs.

El 2016 la Municipalidad Provincial de Espinar realiza el monitoreo de aguas superficiales en once puntos georreferenciados bajo la denominación Informe de Monitoreo N°13-IM-067307. (Osore Plenge, 2016). Del 21 al 24 de noviembre del 2016, los análisis fueron realizados por el laboratorio “Environmental Testing Laboratory S.A.C”. Los resultados se observan en la tabla 3.

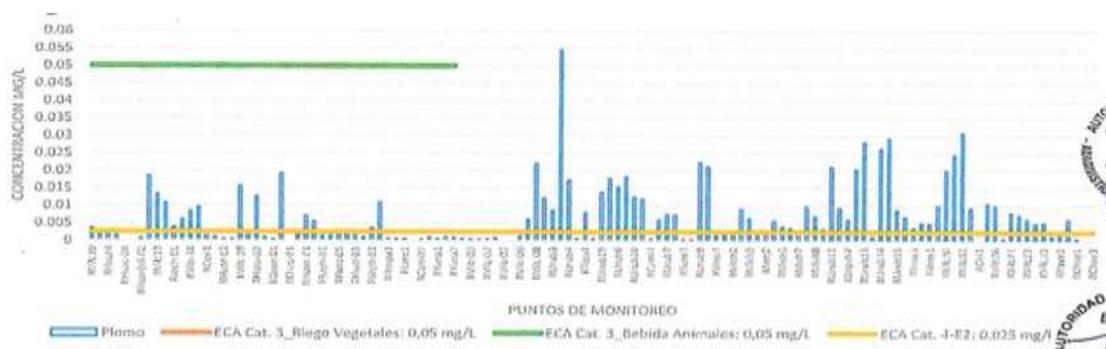
Tabla 3 Resultado de calidad de aguas superficiales en Espinar

DSM N°002-2008	Código	Lugar de monitoreo Punto de muestreo	Cd(mg/L)
Categoría 3	RCCAM-02	Rio Ccamayo	0,0034
Riego de vegetales	RTINT-02	Rio Tintaya	0,0063
Cd 0,005 (mg/L)	RSALA -02	Rio Salado-Rio-Tintaya	0,0056
	RSALA-06	Rio Salado-Rio Cañipia	0,0013
Categoría 4	RLLAN_01	Rio Llanquene	0,0012
(Ríos, lagos y lagunas)	RCANI-01	Rio Cañipia-canal Quetara	0,0011
Cd 0,00025 (mg/L)	QCCD-01	Quebrado Ccoloyo	0,0012
Pb 0,0025(mg/L)	RSALA-03	Rio Salado-quebrada Huacallo	<0,0004
	MPACC-01	Quebrada Pacpacco	<0,0004
	RALLA-01	Rio Allayuayo	<0,0004
	MQUET-01	Manante Quetara	<0,0004

(Osore Plenge, 2016)

Los resultados que se observa en la tabla 3 de los 11 puntos de muestreo 3 están por encima de los valores de la categoría 3(riego de vegetales); para Cd^{2+} y los 11 puntos tienen valores por encima de la categoría 4 (ríos).

FIGURA 1 Variación de concentración de plomo en la cuenca Urubamba Vilcanota durante el monitoreo participativo de la calidad de agua realizado del 2 al 29 de setiembre del 2019



De la figura 1 y la tabla 3 el agua de categoría 4 para los parámetros de lagos y lagunas; y ríos están por encima de los valores de ECA(0.0025mg/L), para Pb (II), según el DS N° 002-2008-MINAM

(Mondal;Periche;Tineo;Bermejo;Rahman;Siddique;Rahman;Solis;Cruz, 2020), investigaron en cuenca de Puyango del departamento de Tumbes, provincia de Tumbes, distrito de San Jacinto, en los pueblos de Rica Playa, La Capitana, Higuérón, Oidor, Vaquería, La Peña y San Jacinto. En los puntos de captación de 69 muestras de agua para consumo se encontró concentraciones altas de plomo de 0,194 mg/L. en el poblado de San Jacinto y 0,0990 mg/L en el poblado de Oidor; además encontraron plomo en la sangre de los pobladores de Rica Playa por la ingesta del agua del río Tumbes (García Peña, Rimaycuna, Herrera, Bermejo, & Cruz, 2022)En la zona alta de la cuenca Puyango se encuentran 87 plantas procesadoras de oro. Las cuales continuamente vienen vertiendo sus lixiviados con altas concentraciones de cianuro, mercurio y metales pesados.

Investigaciones realizadas por (Erostegui, Oporto, Zalles, Sevilla, & Romero, 2020)hacen ver que las poblaciones muy cercanas a actividades extractivas de metales siempre estarán afectadas en la salud como en Quila-Quila, un pueblo del altiplano boliviano. El resultado de esta investigación en muestras de sangre de la población se encontró valores de 12,14 microgramos de Cd/g creatinina.

Estudios realizados por (Oporto, Vandecasteele, & Smolders, 2007) en el mismo pueblo encontró cadmio con valores que excedía al máximo permisible en las papas, habas; llegando a la conclusión que la población tiene un alto índice con afecciones de enfermedades renales corroborado por la alimentación básica de papa, chuño, moraya y habas en la población.

Los resultados en las investigaciones citadas en diferentes años y localidades es muy preocupante de la contaminación por metales pesados, y se puede ratificar de su persistencia, toxicidad ambiental, biodisponibilidad y acumulación en el organismo; entre los más peligrosos tenemos al cadmio, mercurio y plomo; y el metaloide arsénico. Se tiene que promover y liderar la conformación de grupos de gestión para tener agua segura en las poblaciones. Según el programa internacional de seguridad en químicos (IPCS) (International Programme on Chemical Safety, 2020) los metales plomo y cadmio están en el grupo de los 10 más peligrosos en la salud pública. (Fig. 2)

Figura 2 El plomo y cadmio en el grupo de los 10 más peligrosos para la salud pública



Fuente. International Programme on Chemical Safety. Ten chemicals of major public health concern. [http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en\(jun,2020\)](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en(jun,2020))

1.2 MARCO LEGAL

1.2.1 Constitución política del Perú

“De la persona y de la sociedad”, Título I, en su artículo 2º, inciso 22 indica que, “Toda persona tiene derecho; a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.”

1.2.2 (Ley general de salud, 1997)

“De la protección del ambiente para la salud”, Título Segundo, Capítulo VIII - (artículos 103, 104, 105, 106 y 107), dice: es responsabilidad del Estado y de las personas proteger el medio ambiente. Toda persona natural o jurídica está impedida de realizar descargas de sustancias contaminantes al medio ambiente, sin cumplir antes las medidas sanitarias necesarias.

1.2.3. Ley General Del Ambiente, Ley N.º 28611

Aprobada en el año 2005, es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua que debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la

Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

ECA: medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo; que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. La concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (Ministerio del ambiente Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, 2015)

LMP: medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. La concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (Ministerio del ambiente Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, 2015)

Además, los siguientes artículos: Art. 30.1 y Art 122.3 obliga a los responsables a tener planes de tratamiento de pasivos ambientales, como son la presencia de los depósitos de relaves, y de las aguas residuales. (Ministerio del ambiente Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, 2015)

1.2.4 DS N.º 002-2008-MINAM

Según el Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. La aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías y subcategorías:

- ❖ Categoría 1: poblacional y recreacional, subcategoría A (A1, A2, A3) y B (B1 y B2)
- ❖ Categoría 2: actividades marino costeras, subcategoría C (C1, C2, C3, C4)
- ❖ Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, subcategoría D (D1 y D2)
- ❖ Categoría 4: conservación del ambiente acuático, subcategoría E (E1 y E2)

1.2.5 (Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, 2009)

De este documento se extrae los Valores Máximos Admisibles (VMA) De Las Descargas De Aguas Residuales No Domésticas En El Sistema De Alcantarillado Sanitario. Ver Tabla 4

Tabla 4 Valores máximos admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado

Parámetros	Unidad	Expresión	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0,2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0,5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺	80
pH	Unidades de pH	pH	6-9

Solidas suspensiones totales	mg/L	S.ST	500
Temperatura	°C	T	<35

Fuente. D.S. N.º 0.21-2009-VIVIENDA

1.2.6 DS N°010-2010-MINAM

De este documento se extrae los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. Ver tabla 5

Tabla 5 LMP Descarga de efluentes de actividades minero- metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Limite	Limite
		En cualquier momento	para el promedio anual
	unidad de		
pH	pH	6	6
Solidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0,8
Arsénico total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/L	0,1	0,06
Cobre total	mg/L	0,5	0,4
Hierro(disuelto)	mg/L	2	1,6
Mercurio total	mg/L	0,002	0,0016
Plomo total	mg/L	0,2	0,16
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

Fuente. DS N°010-2010-MINAM

1.3 Tratamientos convencionales para la remoción de metales en agua

Los contaminantes que se generan y son desechados en los afluentes pueden ser clasificados como orgánicos e inorgánicos, se conoce diferentes tratamientos tanto físicos, químicos y biológicos entre los que podemos mencionar: Precipitación química,

intercambio iónico, electrodeposición, coagulación-floculación, flotación, filtración por membranas, humedales artificiales, etc. La mayoría de estos métodos son costosos y generan lodos contaminados en gran volumen siendo menos eficientes para tratar contaminantes de tipo inorgánico como los metales pesados, por el factor solubilidad, formación de complejos insolubles, presentan reacciones de óxido reducción; (Morales & Tovar, 2008). Los humedales artificiales son los que pueden utilizar con un mejor rendimiento frente a los demás para remover metales pesados por que se utilizan plantas generalmente acuáticas; las plantas asimilan y retienen los nutrientes como los metales del agua quedando retenidos en los materiales del suelo y en el tejido vegetal. Entre las plantas acuáticas empleadas para la eliminación de metales pesados tenemos a la *Echhornia crassipes* (jacinto del agua), *Azolla pimana*, *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris*.etc. (Gutierrez Miranda & Zapata Morante, 2022)

1.4 Adsorción

La adsorción puede ocurrir en un sistema líquido-líquido, sólido-líquido, gas-líquido o gas-sólido, es un fenómeno de superficie. Los adsorbentes sólidos tienen importancia ambiental por remover contaminantes de efluentes acuosos y gaseosos. La naturaleza del adsorbente es porosa por los grupos funcionales superficiales que posee.

Las etapas determinantes del proceso global de adsorción son:

- ❖ Transferencia de masa externa, existe migración del adsorbato desde la disolución hasta la superficie externa de las partículas de adsorbente.
- ❖ Difusión intergranular, el adsorbato se difunde desde la superficie externa del adsorbente, primero los macroporos y continuando por los microporos más internos hasta llegar a las zonas de adsorción propiamente dichas (contacto de los iones metálicos con los grupos funcionales del adsorbente)
- ❖ La etapa de adsorción, desde el punto de vista cinético, es la etapa más rápida de todas, llegando al equilibrio de forma inmediata. Por lo que la etapa limitante del proceso global de adsorción está determinada por las dos etapas de transporte, la de transporte externo y la de difusión por los poros dentro de la partícula sólida, el adsorbente. (Beltrán Suito, 2015)

La adsorción se clasifica en adsorción física y química. La adsorción física involucra sólo a fuerzas intermoleculares débiles (fuerza de Van Der Waals), siendo las interacciones reversibles, no existe especificidad en cuanto a los sitios de adsorción.

Estos procesos entre el adsorbente y el adsorbato son tan complejos que, no es fácil categorizar a los sistemas de una forma u otra, muchas veces se dan los dos tipos de adsorción simultáneamente. La ecuación 1 y 2 expresan capacidad de adsorción y el porcentaje de adsorción (Caviedes Rubio, Muñoz Calderón, Perdomo Gualtero, Rodríguez Acosta, & Sandoval Rojas, 2015). Estos valores se determinan mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$q = \frac{V(C_i - C_e)}{m} \quad (1)$$

Dónde:

q: Representa la capacidad de adsorción (mg/g).

V: Es el volumen de la solución en litros.

C_i: Es la concentración inicial del adsorbato (mg/L).

C_e: Es la concentración del adsorbato en equilibrio (mg/L).

m: Es la masa de adsorbente en (g).

$$\% \text{ de adsorción} = \frac{C_i - C_e}{C_i} (100) \quad (2)$$

1.4.1. Cinética de adsorción

El estudio de la cinética de adsorción describe la velocidad que permite determinar el tiempo necesario para que el adsorbato interaccione con el adsorbente en la interfase sólido-líquido y llegar al equilibrio dinámico. Para explicar la cinética de adsorción, se usa modelos teóricos de pseudo-primer y pseudo-segundo, los más utilizados en procesos de adsorción. (Yahiaoui, Belattaf, Aissani-Benissad, & Yahia Cherif, 2011)

1.4.1.1 Modelo de pseudo primer orden

El modelo de pseudo-primer orden propuesto por Lagergren, asume que la etapa limitante en un proceso de adsorción es la transferencia de la masa del ion metálico desde la solución hacia la superficie del adsorbente (Ho, 2004) Este modelo se expresa por la ecuación 3.

$$\frac{dq_e}{dt} = K_1 (q_e - q_t) \quad (3)$$

Donde:

q_e :La cantidad de ión metálico adsorbido en el equilibrio (mg/g)

q_t :La cantidad de ión metálico adsorbido en cualquier tiempo (mg/g)

k_1 :Constante de velocidad global (*minuto*⁻¹).

Para determinar las constantes, se pasó a integrar la ecuación (3) según las condiciones frontera $t = 0, q_t = 0$ y $t = t, q_t = q_t$ y reacomodando finalmente se encontró una ecuación lineal 4.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (4)$$

Con la ecuación 4 se pudo graficar los datos experimentales de cinética de adsorción y se determinaron las constantes cinéticas a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta cuando se grafica $\ln(q_e - q_t)$ vs tiempo en minutos.

1.4.1.2. Modelo de pseudo segundo orden

En este modelo la cantidad o concentración que se adsorbe es proporcional a la capacidad que tiene la superficie sólida de adsorber, equivalente a sus sitios activos, un proceso controlado por la quimi sorción. El modelo de pseudo segundo orden es útil y más utilizada para el ajuste de velocidad para la adsorción de los iones metálicos, tintes y otros compuestos de una solución acuosa en materiales a base de celulosa. (Hubbe, 2019). Este modelo cinético fue descrito por (Ho & McKay, 1999) expresada por la ecuación 5.

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

Donde:

q_e :La cantidad de ión metálico adsorbido en el equilibrio (mg/g).

q_t :La cantidad de ión metálico adsorbido en cualquier tiempo (mg/g).

k_2 : Constante de velocidad de pseudo segundo orden (*gmg*⁻¹*minuto*⁻¹).

Para determinar las constantes, se pasó a integrar y reacomodar la ecuación 5 y se obtiene finalmente la ecuación lineal 6.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (6)$$

$$\text{Donde, } v_0 = K_2 q_e^2 ; \quad (7)$$

v_0 = velocidad de adsorción ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$)

Reacomodando se tiene

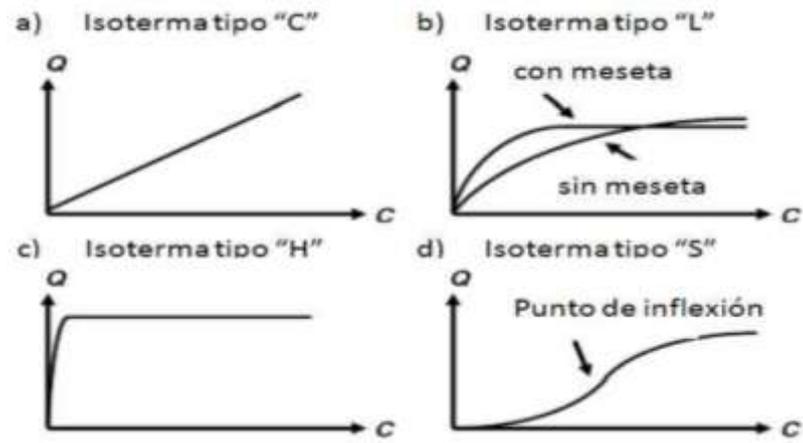
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{q_e} t \quad (8)$$

Con la ecuación 8 se pudo graficar los datos experimentales de cinética de adsorción y se determinaron las constantes cinéticas a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta, cuando se grafica t/q_t vs tiempo en minutos.

1.5. Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción son funciones matemáticas de gran utilidad para los estudios de bioadsorción y permite describir un sistema sólido-líquido constituido por un disolvente (generalmente agua) y un adsorbente. El sistema sólido-líquido es complejo por la superficie heterogénea, del adsorbente y un adsorbato en solución. Las isotermas más utilizada en fase sólido-líquido fue propuesta por (Giles, D'Silva, & Easton, 1974). En la Figura 3 se observa tipos de isotermas, donde Q es la capacidad de adsorción del adsorbente en el equilibrio y (C) es la concentración del adsorbato remanente en la solución en el equilibrio.

Figura 3 Clasificación de los tipos de isotermas en fase sólido-líquido



Fuente. Giles, D'Silva, & Easton, 1974

La isoterma tipo “C” es una línea recta, esto significa que la relación entre la capacidad de adsorción Q y la concentración del adsorbato remanente en la solución en el equilibrio (C) permanece constante a cualquier concentración. La isoterma Tipo “L” se asemeja mucho a la isoterma de Langmuir. La isoterma Tipo “H” es un caso particular de la isoterma tipo “L” donde la pendiente inicial es muy alta, donde, la curva está muy pegada al eje de ordenadas, indicando que el adsorbente tiene una alta afinidad por el adsorbato a bajas concentraciones. La isoterma Tipo “S” presenta una curva sigmoidea al inicio una curva ligeramente convexa y un punto de inflexión, aumentando después a una mayor concentración de adsorbato. (Giles, D’Silva, & Easton, 1974).

Las isotermas “S”, “L”, “H” y “C” son ideales. Los sistemas reales en general se alejan o tienden a tener un comportamiento aproximado al ideal, y más si las investigaciones son en soluciones acuosas. Existen varios modelos matemáticos para describir los sistemas de adsorción en equilibrio, pero los más utilizados son los modelos de Langmuir y Freundlich. (Giles, D’Silva, & Easton, 1974).

1.5.1. Modelo de la isoterma de Langmuir

Irving Langmuir, que recibió el Premio Nobel en Química en 1932, inicia con los estudios de los fenómenos químicos de superficie y la química del sólido; llega a la hipótesis que la superficie del adsorbente es homogénea. La adsorción máxima ocurre con la saturación de las moléculas del adsorbato en una monocapa, con una energía de adsorción constante. (Lazo, Navarro, Sun-Kou, & Llanos, 2009). La isoterma se expresa por la ecuación 9.

$$q_e = \frac{bq_{max}C_e}{1+bC_e} \quad (9)$$

Donde:

q_{max} : Capacidad máxima de adsorción (mg/g),

b : Constante de Langmuir relacionada con la fuerza de enlace (L/mg).

C_e : Concentración del metal en el equilibrio (mg/L).

q_e : Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

Finalmente se obtiene la ecuación linealizada de Langmuir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad (10)$$

Con la ecuación 10 se determinó las constantes correspondientes, a partir de la representación gráfica los valores de C_e/q_e vs C_e , se obtiene una recta; cuya pendiente es q_{max} obteniendo la capacidad de adsorción máxima y con la ordenada al origen $1/b$ q_{max} se obtiene el valor de la constante K_L .

1.5.2. Modelo de la Isoterma de Freundlich

Expresa que la bioadsorción es en multicapa con interacciones intermoleculares (Barquilha, Eneida, Granhen Tavares, & Edson, 2019) donde la superficie del biosorbente es heterogénea. Se define por la ecuación 11.

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

Donde:

C_e : Concentración del metal en el equilibrio (mg/L).

q_e : Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

K_F : Constante de Freundlich $mg^{1-1/n}L^{1/n}g^{-1}$

n : Posiciones para la intensidad de adsorción (afinidad entre el sorbente y el sorbato).

Mediante la propiedad de los logaritmos, se hace lineal la ecuación 11.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} C_e \quad (12)$$

Con la ecuación 12 se determina las constantes correspondientes, a partir de la representación gráfica de los valores de $\ln q_e$ vs $\ln C_e$, se obtiene una recta cuya pendiente es $1/n$, despejando el valor de n , y con la ordenada al origen $\ln K_F$, se obtiene el valor de la constante K_F

1.6. Bioadsorción

Los métodos físico-químicos convencionales de remoción de metales pesados se consideran no viables por sus costos muy elevados de inversión, operación y mantenimiento); y la generación o la formación de lodos químicos, como producto de alguno de estos métodos es un problema ambiental mucho mayor (Rangabhashiyam & Balasubramanian, 2019).

Bioadsorción, es un proceso fisicoquímico que ocurre entre dos sustancias, la unión de una especie química a una superficie(biomasa), siendo la fase sólida

(bioadsorbente) y una fase líquida (agua), donde se encuentran los iones de metales pesados (Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Garcés Jaraba, 2015) La bioadsorción presenta ventajas como bajo costo de operación, es amigable con el ambiente, reutilización del bioadsorbente, tiempo de operación corto, alta eficiencia y libre de formación secundarios como lodos (Rangabhashiyam, Selvaraju, Selvaraju, & Varguese, 2014).

Para el proceso de bioadsorción es mejor utilizar biomasa muerta de varias fuentes biológicas, derivados de microorganismos, bacterias, hongos, algas marinas, plantas o algunos polímeros naturales en lugar de biomasa viva. La biomasa muerta no requiere nutrientes. La bioadsorción es un proceso que se ajusta a modelos matemáticos los cuales describen como se lleva la bioadsorción. (Gupta, Rastogi, & Nayak, 2010) , (Baysal, Cinar, Alkan, & Dogru, 2009)

Los bioadsorbentes generalmente para ser utilizadas no necesitan ser activadas, pero investigaciones dan a conocer que la capacidad de adsorción aumenta al ser activadas. Investigaciones dan a conocer que estos bioadsorbentes permiten reducir la carga de un efluente contaminado no solo con metales; también para eliminar colorantes, pesticidas y otros compuestos orgánicos denominados emergentes. El interés del estudio de estos biopolímeros-bioadsorbentes, no es solo trabajar por el sistema Batch estático, si no hacer estudios orientados aun comportamiento del sistema de flujos continuo o semi continuo en columna. Este sistema ayudaría en el diseño para aplicaciones comerciales, y generaría un área de oportunidades para la ingeniería, la química, la mecánica y la eléctrica, llegando a ser un proceso sostenible (Zhou, Zhang, Zhou, GuoS, & Sci, 2004). Las ventajas fundamentales del bioadsorbente son:

- ❖ Elevada capacidad de adsorción y menor cantidad de adsorbente.
- ❖ Alta porosidad, y Gran superficie de contacto
- ❖ Que presente sitios específicos de adsorción grupos funcionales orgánicos (alcoholes, aldehídos, carboxilatos, fenoles, cetonas, amidas y éteres, etc.)
- ❖ Costo de operación y mantenimiento muy bajo; y de fácil disponibilidad
- ❖ Que pueden utilizarse con o sin tratamiento.
- ❖ Son reutilizables (Vicente, y otros, 2013)

La estructura química de los tejidos vegetales como cáscaras, semillas, hojas, tallos, raíces, entre otros, presentan orificios y poros que permiten atrapar moléculas

pequeñas como los metales e incluso moléculas como las de los colorantes. La naturaleza química de estas estructuras poliméricas permite favorecer interacciones entre los pares de electrones libres de las especies (adsorbente y adsorbato), por lo que son de interés los materiales naturales para ser aplicados en la remoción de contaminantes en agua. (Nethaji, Sivasamy, & Mandal, 2013)

1.6.1 Clasificación de los bioadsorbentes

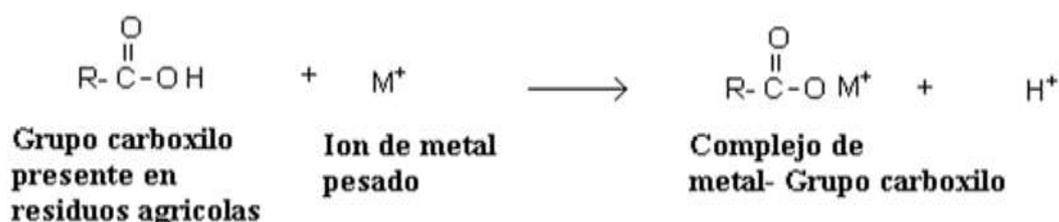
La clasificación según, (Sharma, Kaur, Sharma, & Sahore., 2011); considera fuente de obtención u el origen.

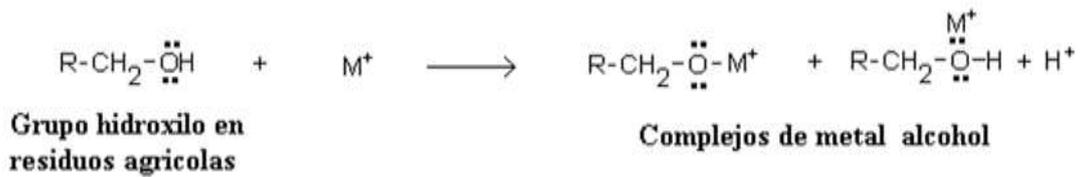
- a. Biomasa viva y no viva (microorganismos)
- b. Los materiales de desecho agroindustriales
- c. Los materiales de desecho de industria alimentaria.

1.6.2 Mecanismos de bioadsorción

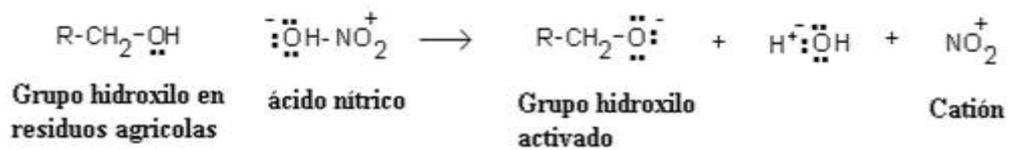
La interacción de los iones de metales pesados y el bioadsorbente es un proceso complejo en donde es posible que intervengan tres de los mecanismos siguientes: Complejación, micro precipitación e intercambio iónico.

(Nguyen, y otros, 2013) indicaron, los residuos agrícolas estudiados son las diferentes partes de las plantas; la corteza, el tallo, las hojas, las flores, cascaras, etc., que están formados químicamente por celulosa, hemicelulosa y pectina con grupos funcionales como los grupos hidroxilo, acétamida, carboxilo, amino, sulfhídrico, alcoholes y éster que son importantes y determinantes en los procesos de adsorción. En soluciones acuosas, los iones de hidrógeno de los grupos funcionales de los residuos agrícolas son substituidos por los iones de metales pesados llegando a formar complejos de metales como en las ecuaciones siguientes:





Para una mejor eficiencia y remoción de los metales pesados de aguas residuales los adsorbentes de residuos agrícolas se activan medio ácido o básico, existiendo los cambios en los grupos funcionales hidrogenados como se muestran en las ecuaciones siguientes:



Un adsorbente activado aumenta su capacidad de adsorción para los iones de metales en forma de catión. La complejación es importante en las interacciones metal ligando (sorbato-adsorbente), con incidencia en la biomasa lignocelulósica. (Diniz, Weber, Volesky, & Naja, 2008) encontraron que ácidos orgánicos como: (ácido cítrico, oxálico, gluónico, fumárico, láctico y málico) pueden formar quelatos con metales pesados formando moléculas metalorgánicas. La unión de diferentes grupos funcionales depende de las propiedades iónicas como la electronegatividad, el potencial de ionización, el radio iónico y el potencial redox de los metales (Allard, Hakansson, & Karlsson, 2008)

La micro precipitación es el resultado entre la reacción de los iones metálicos y los compuestos que se encuentran en la superficie, siempre empieza por la unión a sitios específicos que proporcionan los puntos de nucleación. El intercambio iónico no precisa el mecanismo de unión de metales pesados a la biomasa, porque los mecanismos pueden variar desde la unión física (es decir, fuerzas electrostáticas o de London-Van der Waals) hasta la unión química (iónica o covalente) (Gu & Liang, 2020). Todos estos mecanismos pueden estar presentes debido a grupos funcionales y poros del bioadsorbente.

1.6.3 Factores que influyen la bioadsorción

La eficiencia de la bioadsorción del metal depende de las propiedades del bioadsorbente, parámetros del proceso: temperatura, pH, tamaño de poro del bioadsorbente, cantidad del bioadsorbente, presencia de otros iones, tiempo de contacto y concentración del metal (Naja & Volesky, 2011) y (Hlihor, Bulgariu, Tavares, Maria, & Sobariu, 2014)

1.6.3.1 pH

El pH de la solución es el parámetro que influye bastante, si es básico se formarán grupos hidroxilo y formarán complejos que baja la eficiencia de remoción; el pH ácido favorece la remoción, porque los grupos funcionales compiten por sitios activos de unión con el metal. Los grupos funcionales (grupos activos) de la superficie del adsorbente son modificados por el pH de la solución. Los valores extremos de pH dañan la estructura del bioadsorbente, existe pérdida de biomasa existiendo disminución de la capacidad de adsorción. (Greene, Henzl, Hosea, & Darnall, 1986)

1.6.3.2 Concentración de metal.

Existe saturación de la superficie del adsorbente, cuando la concentración del metal es mayor disminuye, la eficiencia de adsorción (Enniya, Rghioui, & Jourani, 2018)..

1.6.3.3 Cantidad del bioadsorbente

La cantidad de adsorbato (metal pesado) que puede adsorber es directamente proporcional al volumen del adsorbente, y este volumen es directamente proporcional al área externa con una partícula pequeña que tiene mayor área superficial (Enniya, Rghioui, & Jourani, 2018)

1.6.3.4 Temperatura

Para la adsorción física el calor de la entalpía es <0 , la reacción de adsorción es exotérmica y se prefiere a temperaturas bajas, para adsorción química el valor de la entalpía es >0 , por lo que la reacción de adsorción es endotérmica y se favorece a temperaturas altas (Naja & Volesky, 2011)

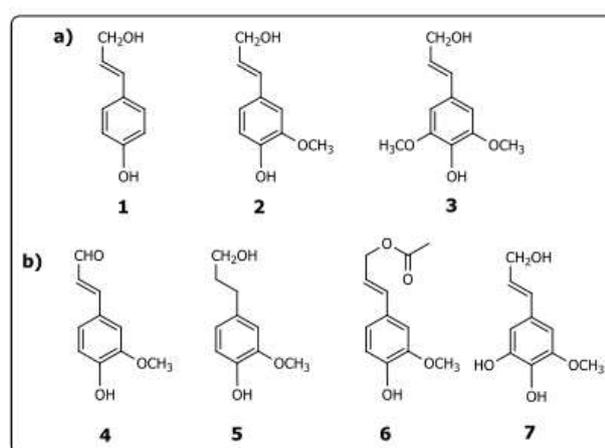
1.6.4 Composición química del bioadsorbente

Son polisacáridos estructurales como la celulosa (30-50%), hemicelulosa (20-40%) y lignina (15-25%). Los grupos funcionales y componentes químicos en los subproductos lignocelulósicos son similares, pero difieren en cantidad. Un componente clave en la bioadsorción es la lignina. La lignina contiene variedad de grupos funcionales como: grupos hidroxilo alifáticos y fenólicos, grupos metoxilo y grupo carbonilo, que tienen la capacidad de unión con iones metálicos por la donación del par de electrones del oxígeno, formando complejos estables (Miretzky & Fernández Cirelli, 2010)

1.6.4.1 Lignina

La lignina es un componente principal de la pared celular de las plantas y varía su composición según los grupos taxonómicos. Es un heteropolímero compuesto por 3 monómeros principales de fenilpropanoides (monolignoles) y derivados: alcohol p-cumarílico, (p-hidroxifenilo), alcohol coniferílico (guayacilo) y alcohol sinapílico (siringilo) y otros derivados. (Fig. 4)

Figura 4 Componentes de la lignina



a) Tipos de monolignoles 1: alcohol p-cumarílico, 2: alcohol coniferílico, 3: alcohol sinapílico, b) (coniferil-derivados): 4: coniferaldehído, 5: alcohol dihidroconiferílico, 6: alcohol coniferil-9-aceta acetato, 7: alcohol 5-hidroconiferílico. (Gellerstedt, Henriksson, & Lignins, 2008)

De acuerdo a la figura 4 se observa que la lignina está conformada por grupos funcionales hidroxifenólicos - alifáticos, en un 9 -11%, grupos metoxilos del 13 al 26% y grupos carbonilo 10%, el oxígeno y el ion metálico (base -ácido de Lewis), forman el proceso de complejación. Cada grupo funcional en el proceso de bioadsorción depende

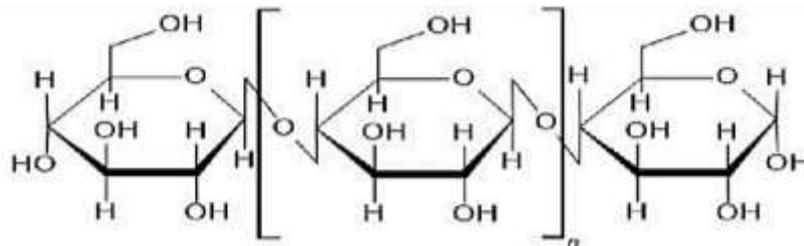
de la cantidad de centros activos y de la afinidad con el adsorbato (Plette, Benedetti, & Riemsdijk, 1996)

Los grupos funcionales con oxígeno como los fosfatos, sulfatos, amino, amida e hidroxilo favorecen la bioadsorción de metales pesados. (Vishtal. & Kraslawski, 2011) A. (2011). A valores de pH muy bajos, los grupos funcionales superficiales de los materiales lignocelulósicos son protonados, generando repulsión de especies catiónicas. A medida que el pH aumenta, el grado de protonación disminuye y los grupos funcionales se cargan negativamente. En la lignina también están presentes grupos éter (R-O-R), ésteres (-C-OO-R) que, pueden ser aromáticos o alifáticos y e) Enlaces dobles (-C=C-) (Chávez-Sifontes & Domine, 2013) Otra propiedad de la lignina son polímeros insolubles en ácidos y solubles en álcalis fuertes como el hidróxido de sodio. (Vishtal & Kraslawski, 2011)

1.6.4.2 Celulosa

La celulosa es uno de los polímeros naturales más abundante de la naturaleza, y se obtiene de diversas fuentes, como tipo variado de vegetales, de algas, de microorganismos y el caparazón de algunos animales marinos (Gañán, y otros, 2017) La celulosa en su estructura tiene unidades de β - D- glucosa unidas entre sí por los enlaces 1,4- β glucosídicos. La celobiosa es un disacárido de la β -D-glucosa, está compuesta de dos unidades de glucosa. El enlace se produce entre el átomo 1 de carbono de la β -D-glucosa y el átomo 4 de la siguiente molécula de glucosa. La Figura 5 muestra la estructura de la celulosa, la unidad que se repite son dos unidades consecutivas de glucosa, conocida como celobiosa. La presencia de los grupos OH en cada una de las unidades estructurales le permite reaccionar bien sea como un alcohol, un éster o un éter. La cadena de celulosa es alargada y las unidades de glucosa están dispuestas en un solo plano debido a la presencia del anillo glicosídico y a su conformación (Fengel & Wegener, 1984) . La configuración más estable es en forma de silla con los grupos hidroxilos en posición ecuatorial.

Figura 5 Estructura de la celulosa

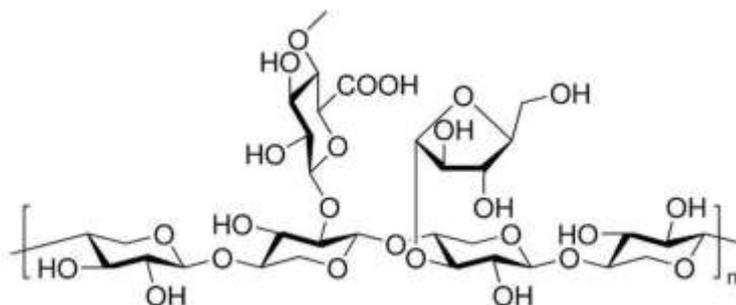


Fuente. (Fengel & Wegener, 1984)

1.6.4.3 Hemicelulosa

La hemicelulosa respecto a la celulosa, es un polisacárido más heterogéneo constituido por combinaciones de pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa, y galactosa), ácidos hexurónicos (ácidos glucorónico, metilglucorónico y galacturónico); y deoxihexosas (ramnosa y fucosa). En la Fig. 6 se muestra algunos constituyentes de la hemicelulosa. Depende de la especie vegetal, que los azúcares, formen varias estructuras poliméricas; algunas están asociadas con la porción celulósica de la planta, mientras que otras están estrechamente relacionadas con la lignina. (Otero, 1988). Los xilanos son homopolímeros (una sola unidad), o pueden ser de dos o más unidades (heteropolímero) como los glucomananos. (Fengel y Wegener, 1984). El contenido de hemicelulosas, tanto por cantidad como por variedad se diferencian en función de las especies, como el de las maderas y de otros lignocelulósicos, (Oporto, Vandecasteele, & Smolders, 2007) . observando los constituyentes de la hemicelulosa según la figura 6 los grupos funcionales son similares a la lignina y celulosa.

Figura 6 Estructura primaria de la hemicelulosa

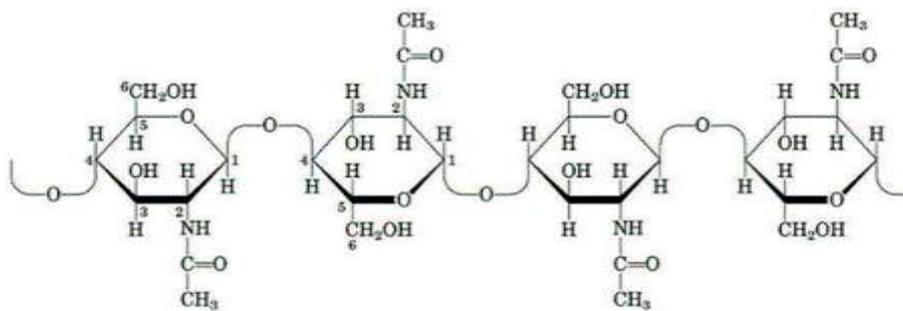


Fuente. Lifeder.2023.

1.6.4.4 Quitina y quitosano

La quitina y el quitosano son copolímeros lineales de residuos de N-glucosamina (D-GlcN) y N-Acetil glucosamina (D-GlcNAc) distribuidos al azar y unidos mediante un enlace β -1,4 que produce una estructura rígida no ramificada. La quitina es un biopolímero, en la naturaleza es abundante después de la celulosa; se encuentra desde 0.4% al 72% en masa, el nombre sistemático es β (1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa, está constituida por unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces β -D (1,4). La Fig.7 muestra la estructura. La quitina se puede encontrar en el exoesqueleto de animales como los insectos, crustáceos y arácnidos, también se encuentran en algunos moluscos, hongos, macrohongos y microalgas. (Mariela Colina et al 2014).

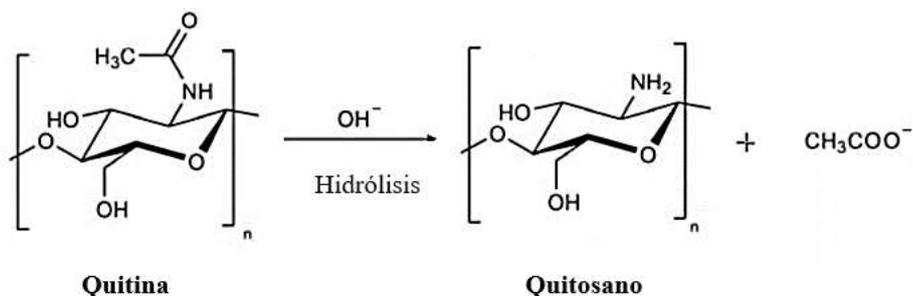
Figura 7 Quitina



Fuente. Mármol Z. et al; 2011

El quitosano se obtiene por un tratamiento de hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio y altas temperaturas en estas condiciones la quitina pierde su grupo acetilo por el proceso de des acetilación, ver fig.8.

Figura 8 Obtención del quitosano



Fuente. Marianela Colina 2014

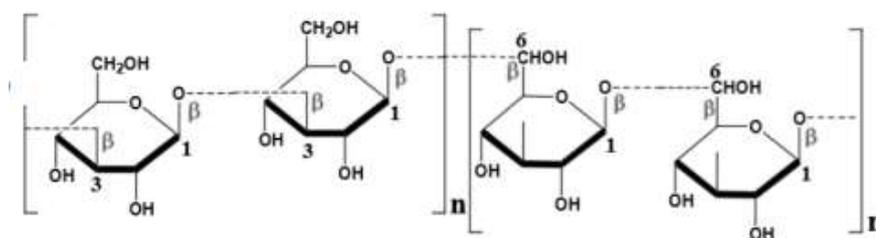
Tanto la quitina como el quitosano son materiales ambientalmente amigables, entre los principales usos en esta área son; como coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alta alcalinidad, floculante para remoción de partículas coloidales sólidas y aceites, y para la captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas (Mármol, Páez, Rincón, & Araujo, 2012)

1.6.4.5 Los glucanos

Los glucanos son polisacáridos constituidos por monómeros de D-glucosa unidos por enlaces glucosídicos. Estas D-glucosa están conectadas unas a otras, en una variedad de posiciones en la estructura del anillo dando lugar los α - glucanos y beta glucanos. como ejemplos de α - glucanos se tiene a la amilosa (enlace α - 1,4) y amilopectina, (enlace α - 1,4 y 1,6)

Los β -glucanos: Formados por enlaces glucosídicos entre el carbono 1 de una D-glucosa y el carbono 3, 4 o 6, según el tipo de enlace, de otra D-glucosa (Vetvicka, Vaclay & Novak, Miroslav, 2011). En este grupo se tienen la curdlana, y la liquenina y pleuran obtenido del hongo Pleurotus (figura 9)

Figura 9 Pleuran



Fuente. Vetvicka & Novak 2011

Los β -glucanos pueden ser extraídos de varias fuentes, como cereales, hongos, levaduras, algas y bacterias. En los cereales, los β -glucanos el enlace lineal β -(1,3) (1,4) son los predominantes, sin embargo, para el caso de los hongos, levaduras y algas, la mayoría de los β -glucanos tienen enlaces lineales β -(1,3) y ramificados β -(1,3) (1,6). Para las bacterias, predomina el enlace lineal β -(1,3) (Basic A., et al; 2009)

Estos enlaces pueden dar como resultado polímeros lineales, ramificados , además, pueden contener en su estructura ácido glucurónico, xilosa, galactosa, manosa, arabinosa y/o ribosa (Synytsya A., et al; 2009)

1.7 Bioadsorbentes utilizados en este estudio

En esta investigación se estudió los estípites del hongo *Pleurotus spp* cultivado en la comunidad de Conchacalla de la provincia de Anta, departamento del Cusco y los tallos y hojas de *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* que quedan como residuos luego de la obtención de sus aceites esenciales estas muestras se recolectarán de la comunidad de Callarayan distrito del distrito de Taray provincia Calca, región Cusco.

1.7.1 Estípites de *Pleurotus ostreatus* cultivado (EP)

En el Perú, el cultivo de hongos comestibles se inició en el año 1960 con la introducción de *Agaricus bisporus* "champiñón". Los años 80 el cultivo alcanzó niveles industriales. Posteriormente, en 1990, se introduce el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (setas), y el 2008 se logra, por primera vez, la producción de *Lentinula edodes* "shiitake" en la ciudad del Cusco. Para el desarrollo de la tecnología del cultivo se utilizaron desechos agrícolas y forestales que se encuentran en abundancia en áreas rurales de regiones en desarrollo, cuyas economías aún son básicamente agrícolas.

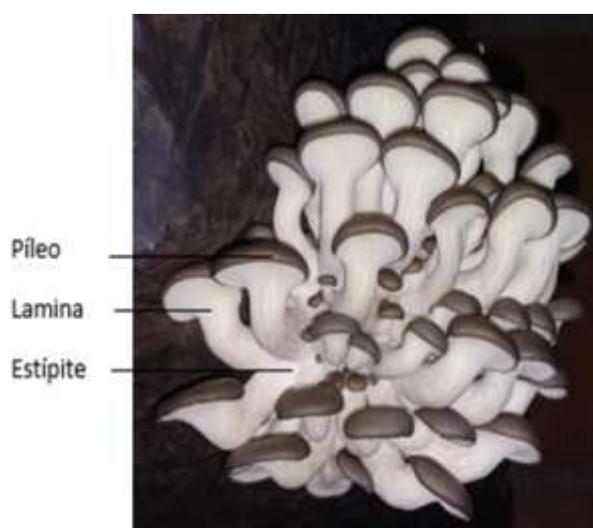
El año 2008 se empieza el cultivo de hongos comestibles uno de ellos el género *Pleurotus* en la ciudad del Cusco como una transferencia tecnológica desde la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco a través del centro de investigación y producción de hongos alimenticios y medicinales (CIPHAM) hacia las comunidades de la ciudad del Cusco formando en la actualidad centros de producción sostenibles a nivel familiar y de microempresas, utilizando en el cultivo (sustrato) únicamente residuos lignocelulósicos (chala de maíz, rastrojo de quinua, trigo, avena, etc.) de las mismas comunidades. (Holgado Rojas, Aranzbal Carrasco, Ruth, & Quispe Pelaez, 2010)

En general, los hongos comestibles contienen 90% de agua y 10% de materia seca, de los cuales 27-48% son proteína, aproximadamente 60% corresponde a carbohidratos, en especial fibras dietéticas (D- glucanos, quitina y sustancias pépticas) y 2-8% son lípidos (Valdespino Sahagún, 2020)

Los hongos del género *Pleurotus* se encuentran ampliamente distribuidos a nivel mundial e incluyen especies comestibles de gran valor económico en muchos países. Son degradadores de madera que crecen en partes vivas o muertas en forma de repisa, y los cuerpos fructíferos generalmente en grupo, o solos como se puede ver en la fig. 10.

Se caracteriza por la presencia de un píleo (cuerpo fructífero) liso convexo, casi siempre en forma de ostra o concha; miden entre 5 y 12 cm de diámetro. El cuerpo fructífero tiene colores variables según la especie. Sus laminillas son decurrentes, unidas en la base, anchas, blancas y algunas veces amarillas. Presentan un estípote (pie) corto, excéntrico, engrosado gradualmente hacia el píleo, ocasionalmente no se presentan, puede medir aproximadamente 2 cm de largo, es de color blanco generalmente. (Sánchez, L, Gómez, Mora, & Mercado, 2016). La Fig. 10 muestra el hongo *Pleurotus spp.*

Figura 10 Hongo *Pleurotus spp* cultivado



Fuente. Bioasetas, 2022

Pleurotus ostreatus es una especie rica en polisacáridos constituida, principalmente de quitina, hemicelulosa, mananos y β -glucanos, con unidades de (1,3)- β -D-glucanos, lineales y ramificados.

La muestra del hongo en estudio para su identificación se llevó al centro de Investigación y Producción de Hongos Alimenticios y Medicinales (CIPHAM) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Según los exámenes macroscópicos y microscópicos corresponde a la siguiente especie:

Reino: Fungí

Subreino: Fungi superior

División: Basidiomycota

Superclase: Holobasidiomycia

Clase: Hymenomycete

Orden: Agaricales

Familia: Tricholomataceae

Género: Pleurotus

Especie: *Pleurotus ostreatus*

Nombre científico: *Pleurotus ostreatus* (Jacquin Fries) Kummer

Nombre común: Sachak'allampa.

1.7.2 *Minthostachys acris* (MA)

El género *Minthostachys* (MA), se caracterizan por ser arbustos aromáticos de los páramos andinos de América del Sur (2600 a 3800 msnm), extendiéndose desde Colombia, el norte de Venezuela a través de Brasil, Ecuador, Perú y Bolivia hasta el noroeste y centro de la Argentina, también se encuentra en regiones altas y áridas (Fernández, y otros, 2018) La taxonomía por la variabilidad morfológica resulta ser muy compleja. Se reconoce 12 especies. La muña (*Minthostachys acris*) pertenece a la familia *Lamiaceae*, familia con 236 géneros y 7173 especies (Salaverry, 2005). El género se caracteriza por producción de aceites esenciales; es una planta arbustiva, leñosa que alcanza de 0.80 a 1.20 m. de altura, frondosa en la parte superior; erecta y pubescente. Su tallo es ramificado desde la base y posee hojas pequeñas, aserradas. Sus flores son blancas y se encuentran reunidas en cortos racimos.

Actualmente, el empleo de la MA llamado en la región del Cusco como muña se ha extendido a todas las regiones del Perú, debido, principalmente, al seguimiento de las tendencias ecológicas actuales y la producción de aceites esenciales para usos farmacéuticos y comerciales. (Cano, Bonilla, Roque, & Ruiz, 2008). En un estudio fitoquímico de extractos etanolicos se encontraron azúcares reductores, compuestos fenólicos, aminoácidos, triterpenos y esteroides (Cano, Bonilla, Roque, & Ruiz, 2008) también encontraron diferencias en el contenido de alcaloides y fenoles de cinco muestras de muña de expendio informal procedentes de mercados populares en Lima – Perú. La determinación taxonómica de la muestra recolectada (Fig.11) fue realizada por el especialista en botánica asociado del herbario Vargas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Dr. Galiano Sánchez M.

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novà ex Takhtk

Superorden: Asteraceae Takh

Orden: Lamiales Bromhead

Familia: Lamiaceae Martinov

Tribu: Menthianae

Género: *Minthostachys* (Benth)Spach

Especie: *Minthostachys acris* Schmidt-Leb

Figura 11 *Minthostachys acris* (MA)



Fuente propia

1.7.3 *Clinopodium bolivianum* (CB)

Es una especie aromática conocida como “inca muña”, “cjuñuca”, “cjuñu muña”, “pampa muña”, “chulpa muña” u “orégano de los incas”, pertenece a la familia Lamiaceae. Crece en abundancia en la sierra del Perú, como en el departamento de Cusco. Es un arbusto de 60 - 80 centímetros de alto (Yapuchura Mamani, 2010) La medicina tradicional utiliza las hojas en infusiones para tratar la indigestión, náuseas, diarrea, anemia y enfermedades respiratorias; las flores y hojas han sido utilizadas como condimentos en diferentes preparados, sopas y dulces. Según, los estudios de actividad

quelante para la captura del cobre reflejan en los valores de absorbancia a 275 a 350 nm como máxima absorbancia en la inca muña (*Clinopodium bolivianum*). Los compuestos fenólicos se determinaron de los extractos acuosos, etanolicos. (Chirinos, Huamán, Betalleluz-Pallardel, Pedreschi, & Campos, 2011)

La determinación taxonómica del bioadsorbente recolectado (Fig. 12), fue realizada por el especialista en botánica asociado del herbario Vargas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Dr. Galiano Sánchez M.

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novà ex Takht

Superorden: Asteraceae Takht

Orden: Lamiales Bromhead

Familia: Lamiaceae Martinov

Tribu: Menthianae

Género: *Clinopodium* L.

Especie: *Clinopodium bolivianum*(benth) Kuntze

Figura 12 *Clinopodium bolivianum* (CB)



Fuente propia

1.8 Técnicas de análisis espectroscópicas

Técnicas espectroscópicas es un conjunto de técnicas donde se estudia la interacción de la radiación electromagnética con la materia. Para la determinación cuantitativa de metales los métodos que se utilizan, son la espectroscopia de absorción

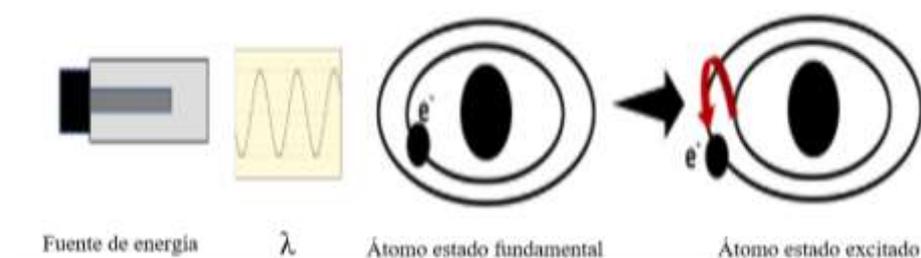
atómica (AAS) con atomización de la muestra por llama (FAAS), o atomización electrotérmica a través de un horno de grafito (GFAAS) o espectroscopía de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS), la emisión atómica con plasma acoplado por inducción (ICP-AES) y la espectrometría de masas con plasma acoplado por inducción (ICP-MS). La FRX otra técnica espectroscópica que tiene como objetivo el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, etc.) y líquidas (Beatty & Kerber, 1993)

1.8.1. Espectrofotometría de Absorción atómica

1.8.1.1 Fundamento

Un elemento químico tiene un núcleo atómico rodeado de electrones; ubicados en forma ordenada en niveles y subniveles de energía. La configuración electrónica de un elemento más estable es la de menor energía y se define como “estado fundamental” (Fig.13). Si se aplica energía a una determinada longitud de onda (λ) a un átomo en estado fundamental, la energía es absorbida por el átomo y existe movimiento del electrón desde un nivel de energía menor hacia un nivel de energía alto, llegando al estado más estable (estado excitado). Este proceso se llama absorción atómica. El átomo tiene la capacidad de absorber luz a longitudes de onda específicas de cada elemento químico. La técnica analítica instrumental se desarrolla con el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) (Beatty & Kerber, 1993)

Figura 13 Proceso de absorción atómica



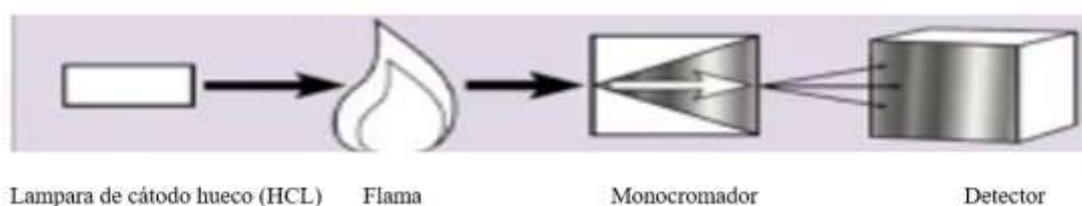
1.8.1.2 Componentes

Los componentes básicos de un espectrómetro de Absorción Atómica de Llama son: fuente de energía radiante una lámpara de cátodo hueco (HCL) que emite en la longitud de onda del elemento en estudio, sistema de atomización que suministra la energía calorífica (Flama) para la disociación del analito y la formación de átomos libres, monocromador para aislar las radiaciones a la longitud de onda medida; y detector

acoplado con un sistema de registro de los datos obtenidos. En el caso de Absorción Atómica de Llama (Fig. 14) este proceso se realiza en una llama, que utiliza como combustible la mezcla de los gases óxido de nitrógeno/acetileno o de aire/acetileno en función de la temperatura necesaria (Martínez Guijarro, 2020).

Componentes básicos del espectrofotómetro de absorción atómica de llama
Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)

Figura 14 Componentes básicos del espectrofotómetro de absorción atómica de llama
Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)



1.8.2 Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia infrarroja se clasifica en tres intervalos: infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano. El intervalo de infrarrojo medio ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) ,rango útil donde para las aplicaciones fundamentales para determinar la identidad y estados de protonación de grupos funcionales orgánicos superficiales presentes en un sólido, así se podrá conocer la estructura química en este estudio de los bioadsorbentes muy importante para entender el proceso de bioadsorción de los iones metálicos. (Srivastava, 2006) Esta técnica también permitirá entender el mecanismo de unión del metal con la biomasa por la identificación de los grupos funcionales involucrados en en la unión.

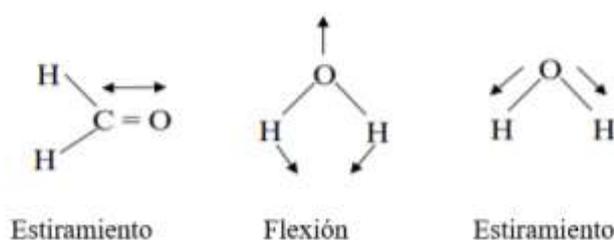
1.8.2.1 Fundamento

La espectroscopia infrarroja, estudia fenómenos de interacción entre la energía de la radiación, ubicada y determinada a una longitud de onda del infrarrojo, y es absorbida por la molécula (o parte de ella) ,que se encuentra vibrando en su estado basal a la misma longitud de onda que la radiación infrarroja incidente, originando el cambio en la intensidad de la vibración, y se manifiesta como un espectro que se visualiza como picos de absorción, cada pico del espectro representa un tipo de vibración que indica el tipo de enlace químico de las moléculas. La presencia de momentos dipolares activos

o diferentes a cero es necesario para la producción de absorción de energía infrarroja (Mondragón , 2020).

El movimiento de la molécula y la determinación es complejo, pero se considera como una combinación de varios movimientos vibratorios simples. En general, las vibraciones pueden ser como aquellas que cambian longitudinalmente sus enlaces (estiramiento) o que cambien el ángulo en sus enlaces (flexión) (Fig.15). Algunas de las vibraciones de estiramiento pueden ser de dos tipos, (estiramiento simétrico o asimétrico)) (Mondragón Cortez, 2020)

Figura 15 Vibraciones deflexión y estiramiento



El espectrofotómetro FTIR usa en esencia un interferómetro para medir la energía que transmite la muestra, la radiación infrarroja emitida llega al interferómetro en donde se da la codificación espectral de las señales, la señal resultante del interferómetro rebota en la superficie de la muestra en donde se absorben longitudes de energías específicas, por último, el haz pasa por el detector para luego ser retransmitido a la computadora por la transformación de Fourier de las señales de energía.

1.8.3 Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Es una técnica espectroscópica de análisis químico elemental, no destructiva que proporciona resultados cualitativos y semicuantitativos, determinando la composición elemental de una muestra generalmente sólida, pero también se pueden analizar muestras líquidas.

1.8.3.1 Fundamento

La técnica se basa en hacer incidir un haz de rayos x (primarios) sobre la muestra. La existencia de energía necesaria para arrancar un electrón de las capas internas, se crea un ion inestable y el electrón de las capas externas pasa a ocupar el lugar del

electrón desalojado, dando origen a una radiación emitida, de energía inferior al incidente; esta es la radiación fluorescente (salto del electrón de un nivel de mayor energía a uno de menor energía). Estos saltos electrónicos entre capas de un elemento son detectados por el equipo expresando en un espectro característico de cada elemento y es único. Para análisis se emplea un cristal analizador, el cual difracta la radiación en un ángulo que depende de la longitud de onda a través de la Ley de Bragg. Esta longitud de onda es característica de los electrones implicados en la transición, y del elemento químico, mientras que la intensidad es proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra. (Valentinuzzi, 2008)

1.9 Técnicas de análisis e interpretación de la información

Para el análisis estadístico y determinar la masa de los bioadsorbentes, de contacto óptimos para el proceso de adsorción de soluciones acuosas de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) se utilizó la estadística descriptiva no paramétrica, mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Adrián, Soledad, Luis, Ivan, & Palomino, 2015). Este método no asume normalidad (Shapiro Wilk) de los datos, toma muestras menores a 50 ($n < 50$). Para la determinación se aplicó la herramienta Excel y el paquete estadístico SPSS vs 26. Se calcula H, el estadístico de prueba de Kruskal Wallis, que está, distribuida como una Chi-Cuadrado con $gl = k - 1$, que se expresa en la ecuación 14.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^K \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N + 1) \quad (14)$$

donde:

k = número de muestras.

n_j = número de casos en la muestra de orden j

N= número de casos de todas las muestras combinadas.

R_j = suma de rangos en la muestra de orden j

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación tuvo varias etapas, desde la recolección de las muestras vegetales; *Minthostachys acris* (MA) (muña) y *Clinopodium bolivianum* (CB)(cjuñuca), se recolectaron de la comunidad Kallarayan- del distrito de Taray provincia Calca, región Cusco, y los estípites de los hongos cultivados de la especie *pleurotus spp* (EP) de la empresa Biosetas ubicada en la localidad de Conchacalla- Anta-Cusco. Las muestras son activadas por procesos químicos para aumentar la capacidad máxima de adsorción de iones de plomo y cadmio de soluciones acuosas por el sistema Batch; buscando el pH y el tiempo de contacto con la biomasa óptimas, finalmente , se llevó a un análisis espectroscopia de absorción atómica (AAS).Se realiza el estudio de la cinética de adsorción a través las ecuaciones de pseudo primer y pseudo segundo orden descritos por Lagergen y Ho respectivamente , como la construcción de las isothermas de Langmuir y Freundlich. Para conocer los grupos funcionales y las interacciones entre los bioadsorbentes con los iones metálicos se hizo la interpretación de espectros FT-IR; y para conocer las concentraciones de plomo y cadmio en cada biomasa se utilizó FRX. Para ver la efectividad de los bioadsorbentes en estudio se realizó una prueba en aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco. La Fig.16 muestra el flujo del diagrama de los procesos ejecutados.

2.1 Tipo y diseño de la investigación

El tipo es de investigación aplicada por los objetivos muy específicos con el propósito de solucionar la contaminación del agua por metales pesados.

El diseño es de investigación experimental-comparativo con el propósito de comparar la efectividad de la bioadsorción en función de la concentración del bioadsorbente, pH y tiempo de contacto de *Minthostachis acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* (CB) y de los estípites del hongo *Pleurotus spp* cultivado (EP) para plomo (II) y Cadmio de soluciones acuosas y aguas residuales.

Los experimentos se realizaron al azar con un doble tratamiento y con tres repeticiones de lecturas para cada bioadsorbente, con cada uno de los metales y el control de la (dosis del bioadsorbente, pH y tiempo de contacto). Estos resultados se

llevaron a la prueba de Kruskal-Wallis con un análisis de varianza y un diseño de bloques completos al azar.

2.2 Enfoque de la investigación

Esta investigación es un estudio comparativo- cuantitativo por que se compara la capacidad de adsorción y se determina la eficiencia de remoción de los tres bioadsorbentes para los metales plomo (II) y cadmio de soluciones acuosas y aguas residuales.

2.3 Unidad de estudio.

Para este estudio se utilizó *Minthostachis acris* (MA), *Clionpodium bolivianum* (CB) (residuos después de la extracción de sus aceites esenciales) y estípites del hongo *Pleurotus spp* cultivado (EP) (residuos que quedan después de la selección y cortado de los cuerpos fructíferos de hongos *Pleurotus spp* cultivado, antes del expendio)

2.4 Estrategia de recolección de datos

Recolección de los bioadsorbente, resultados experimentales y aplicación de los resultados experimentales de cada tratamiento con cada metal a las herramientas de Excel y el paquete estadístico SPSS vs 26

2.5 Lugares de ejecución de la investigación

El trabajo experimental de esta investigación se desarrolló en laboratorios de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, para las soluciones acuosas de plomo y cadmio; y aguas residuales. A continuación, se detallan los procedimientos:

La preparación de los bioadsorbentes, optimización del pH, el tiempo de contacto y la masa optima de cada bioadsorbente para la adsorción de lo iones plomo y cadmio de soluciones acuosas y las pruebas de adsorción de los bioadsorbentes para cadmio y plomo de aguas residuales se realizaron en los laboratorios de química inorgánica de la Escuela Profesional de Química.

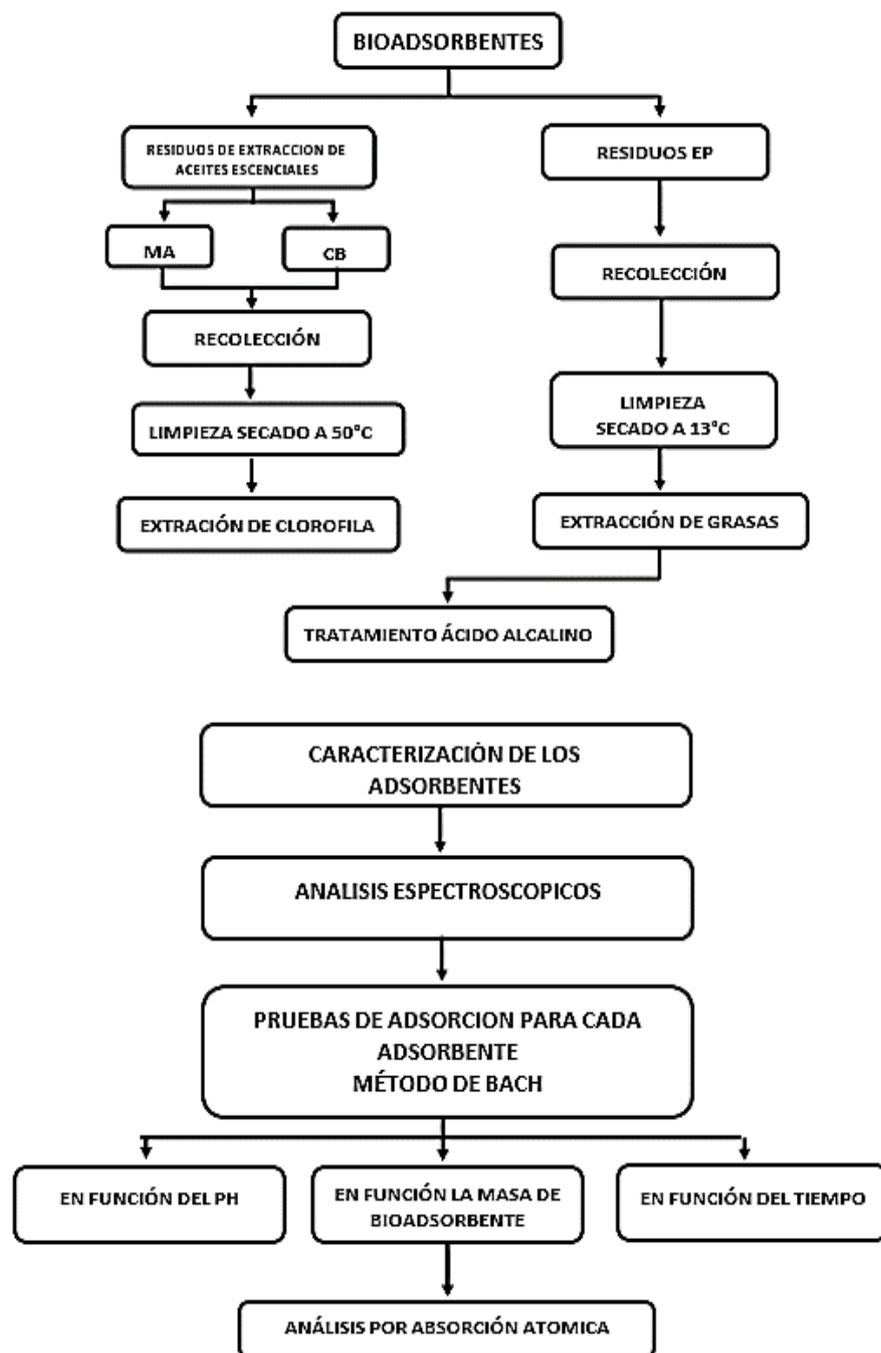
La determinación de la concentración inicial y final de los iones plomo y cadmio por absorción atómica de las soluciones acuosas y aguas residuales se realizaron en los laboratorios de servicios de la Universidad Nacional San Antonio Abade del Cusco.

La caracterización de cada biomasa antes y después del proceso de bioadsorción de plomo y cadmio de las soluciones acuosas por FTIR se realizaron en los laboratorios de Química Orgánica de la Escuela Profesional de Química

La composición en relación a los iones metálicos de los bioadsorbentes antes y después de aplicar en las soluciones acuosas plomo y cadmio se determinaron por la técnica FRX en los laboratorios de Física de la Escuela profesional de Física.

En la figura 16 se muestra mediante un diagrama de flujo los procedimientos experimentales realizados.

Figura 16 Diagrama de flujo por bloques de los procesos experimentales realizados



2.6 Materiales, reactivos y equipos

2.6.1 Material de vidrio y otros

- ❖ Erlenmeyer de 50 mL, 100 mL, 250 mL y 500 mL
- ❖ Matraces aforados de 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL y 1000 mL
- ❖ Pipetas graduadas de 1 mL, 5 mL y 10 mL
- ❖ Embudos diámetro 100mm
- ❖ Papel Filtro Whatman N° 45 de 125mm
- ❖ Tamices A.S.T.M de N° malla 40.
- ❖ Bandejas
- ❖ Cronometro

2.6.2 Equipos y aparatos

- ❖ Agitador magnético termostatzado J.P. SELECTA, S.A
- ❖ Balanza analítica de sensibilidad 0,001 g OHAUS
- ❖ Centrífuga 6.000 RPM EBA 200
- ❖ Espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER ANALIST 100
- ❖ Espectrómetro Infrarrojo-Espectrómetro Thermo Scientific Nicolet 380 FT-IR
- ❖ Potenciómetro - Crison - Model pH 25 Plus - pH-Meter – Datasheet
- ❖ Equipo de fluorescencia de RX, marca Olympus Delta Premium
- ❖ Equipo Soxhlet de 500ml
- ❖ Equipo de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor

2.6.3 Reactivos

- ❖ Ácido clorhídrico Q.P. 37%
- ❖ Ácido nítrico Q.P. 65%
- ❖ Éter de petróleo Q.P.
- ❖ Etanol Q.P 87%
- ❖ Nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$ (Q.P) EMSURE ACS, Reag. Ph Eur (Merck)
- ❖ Nitrato de Cadmio $Cd(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ (Q.P) EMSURE ACS (Merck)
- ❖ Solución de Hidróxido de sodio 0,1 N
- ❖ Solución de ácido clorhídrico 0,1 N

2.7 Procedimiento experimental

2.7.1. Muestreo y recolección de biomasa

Los estípites de los hongos *Pleurotus spp* (EP), cultivados artesanalmente se recolectaron de la empresa Bio Setas Perú en la comunidad de Conchacalla, ubicada entre las coordenadas Latitud 13° 36'09'' sur; Longitud 71°51'38'' oeste del distrito Anta, provincia Anta, departamento de Cusco, y a 3720 msnm (Fig.17)

Figura 17 Ubicación geográfica de la comunidad Conchacalla



Los biomateriales *Minthostachys acris* (MA) y *Clinopodium bolivianum* (CB) se recolectaron de la comunidad de Kallarrayan, ubicada entre las coordenadas latitud 13°27'21'' sur, longitud 71°53'59'' oeste, del distrito de Taray provincia Calca, región Cusco, y a 4828 msnm. (Fig.18)

Figura 18 Ubicación geográfica de la comunidad Kallarrayan



Los biomateriales luego de su recolección se llevan al laboratorio de química inorgánica de la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco para los diferentes procesos del trabajo experimental.

2.7.2 Obtención de los bioadsorbentes

2.7.2.1 *Minthostachys acris* (MA) y *Clinopodium bolivianum* (CB)

Los biomateriales después recolectados se realiza los siguientes procesos.

Procedimiento

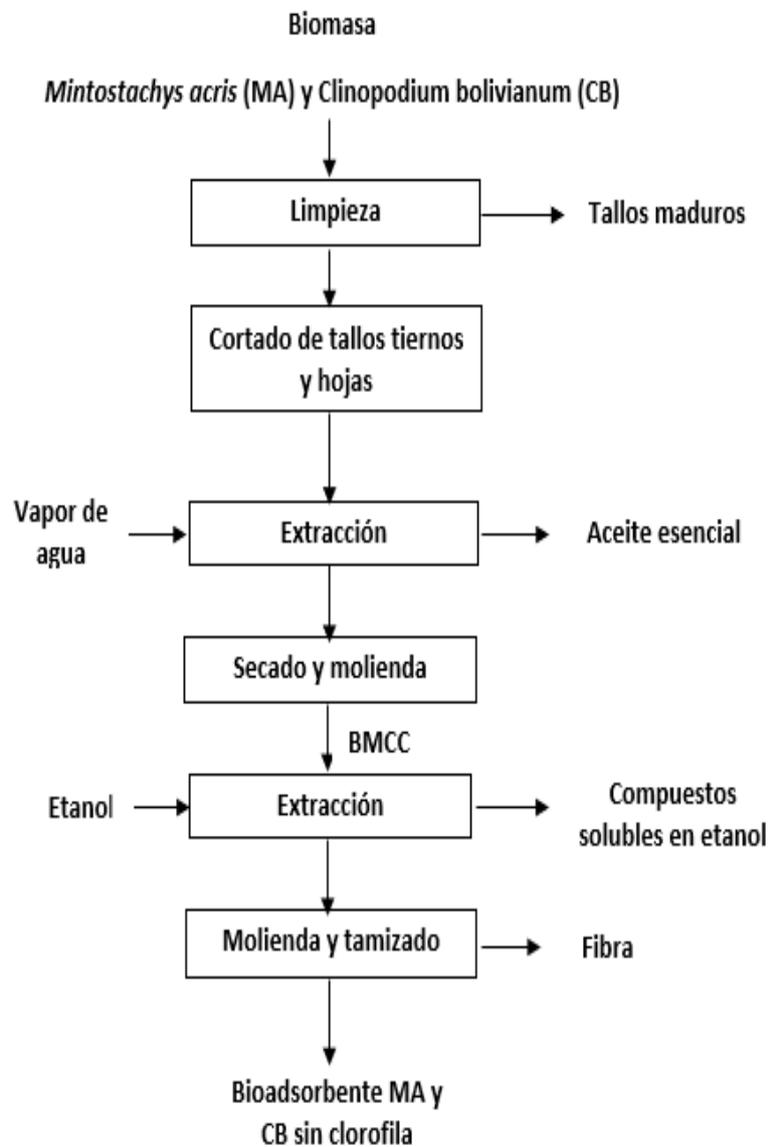
Se empieza de 160.10 g. de MA y 123.09 g. de CB, cada biomaterial se limpia, se cortan tallos tiernos y hojas para determinar la humedad (ecuación 15) por el método gravimétrico. Se someten las muestras a 50°C durante 24 horas. La extracción del aceite esencial de las muestras se realiza por el método convencional por arrastre de vapor con agua, durante 2 horas, utilizando un determinado peso de muestra fresca de los materiales vegetales (hojas y tallos tiernos) (anexo Fig. 1, 2 y 3).

La extracción de clorofila se realizó con etanol del 87% de pureza por el método de Soxhlet, un método de extracción solido-liquido. El biomaterial resultante de la extracción de aceites esenciales se seca a 50°C (Queirolo & Morales, 2019), se hace la molienda en un mortero. La muestra molida se coloca en cartuchos de papel filtro de filtración rápida y se colocó al equipo Soxhlet durante 2 horas hasta que el solvente quede libre de coloración (Naranjo & Chávez, 2015) . El rendimiento se determina mediante la ecuación 16 . Se seco la muestra a 50°C, se muele y se pasó por malla 40, se pesa y se guarda hasta utilizar para el proceso de adsorción. La figura 19 muestra el sistema de bloques para la obtención de cada uno de los bioadsorbentes sin clorofila. (Anexo Fig. 4)

$$\%Humedad = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100 \quad (15)$$

$$\%Rendimiento = \frac{peso\ final}{peso\ inicial} \times 100 \quad (16)$$

Figura 19 Diagrama de flujo por bloques para la obtención de los bioadsorbentes MA y CB.



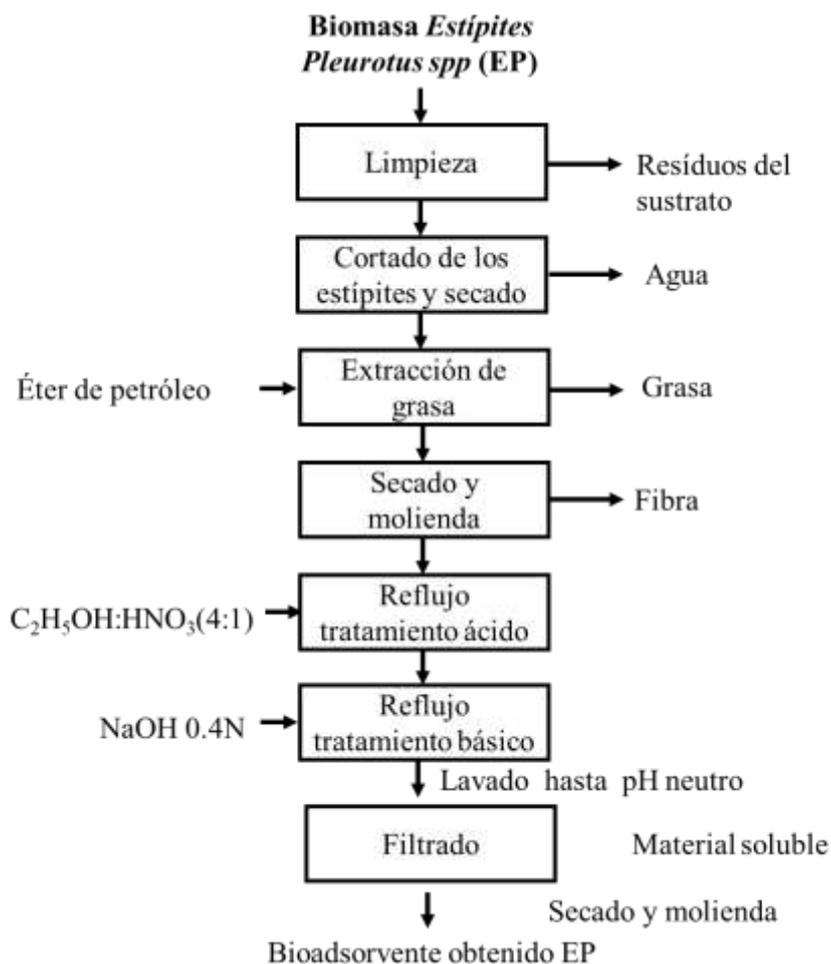
2.7.2.2 Estípites de *Pleurotus spp* cultivado

Los estípites de los hongos *Pleurotus spp* cultivado (EP) se trajó de la empresa Biosetas (anexo Fig. 1,2 y 3). La masa inicial fue de 156.010 g,

Procedimiento:

- a) Se limpian, seleccionan, cortan y son secados a temperatura ambiente de (12°C-16°C) hasta un peso constante, expresándose como humedad, y determinado por el método gravimétrico. Según la ecuación 15.
- b) La muestra se muele y fue desengrasada por el método Soxhlet. La muestra es secada al medio ambiente, luego se pasa por malla 40, y se coloca en cartuchos de papel filtro de filtración rápida y colocados en un equipo de extracción Soxhlet. (anexo Fig. 5), se utiliza como solvente éter de petróleo Q.P.
- c) Una vez concluida después de 4 horas de extracción, se retiraron los cartuchos de papel filtro del equipo y fueron secados a temperatura ambiente. Siendo posteriormente pesados para determinar el % de grasa.
- d) La muestra desengrasada se activa con el tratamiento ácido-básico preparando una mezcla etanol-ácido nítrico en relación 4:1, se reflujo durante 1,5 horas, se filtró y se lavó con agua desionizada. (Anexo Fig. 5) Nuevamente se reflujo con agua por 1 hora, finalizando el proceso de activación con tratamiento alcalino con una solución de hidróxido de sodio 0,4 N.
- e) El reflujo continuo por 1 hora más. El producto final se filtró, lavó con agua desionizada hasta pH neutro y se secó a 85°C y; se guardó para los procesos de adsorción. (Método tratamiento ácido-básico). Modificación al proceso de hidrólisis ácido-alcalino propuesto por (Saucedo Luna, Castro Montoya AJ, & Campos García, 2010) . La figura 20 muestra el procedimiento.

Figura 20 Diagrama de flujo por bloques para el proceso de obtención del bioadsorbente estípites de hongo *Pleurotus spp* (EP)



2.7.3 Caracterización de los bioadsorbentes

2.7.3.1 Análisis proximal

Para el análisis proximal se determinan en biomateriales secos, la proteína se determinó por el método micro Kjeldahl, grasa por el método Soxhlet, carbohidrato por diferencia, fibra por método de hidrólisis acida-básica y cenizas por el método gravimétrico.

2.7.3.2 Análisis por Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR)

Para determinar los espectros FTIR, se utilizó el Espectrómetro Nicolet™ 380 FT-IR con accesorio Smart iTX™ y con cristal de diamante. Los espectros IR se registraron con una resolución de 4 cm^{-1} , con 32 barridos .

Cada uno de los bioadsorbentes se sometieron a molienda en un mortero de ágata y la muestra se aplicó en forma sólida en el aditamento ATR (Reflectancia total atenuada) del espectrómetro Infrarrojo de Transformada de Fourier FTIR en el rango de infrarrojo medio de $400\text{ a }4000\text{ cm}^{-1}$. Con los espectros obtenidos se realizó la interpretación y análisis de los grupos funcionales encontrados en los bioadsorbentes.

2.7.3.3 Análisis por espectroscopia de fluorescencia de RX(FRX)

Para este análisis los bioadsorbentes *Minthostachis acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* (CB) y los estípites de *Pleurotus spp* (EP) puros y después del proceso de adsorción de Pb (II) y Cd de las soluciones acuosas se llevaron a los laboratorios de física de la universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Se utilizo un equipo portátil de XRF, marca Olympus Delta Premium para la obtención de los espectros respectivos.

Procedimiento

- a) Cada uno de los bioadsorbente molidos son colocados en el porta muestras. Se trabajo con el modo SOIL con dos disparos de bean 1 por 25 segundos con 40 Kev de energía, que mostró el análisis de elementos pesados, bean 2 por 30 segundos con 10 Kev de energía, que analizó elementos ligeros, de acuerdo a la tabla periódica de energías de rayos X de los elementos ([www. Bruker/hhxf](http://www.Bruker/hhxf))
- b) Con los espectros obtenidos se determinan los elementos en los bioadsorbentes antes y después del contacto de las soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio.

2.7.4. Cuantificación en soluciones acuosas de metales Pb (II) y Cd usando la espectrofotometría de absorción atómica

La concentración de los iones metálicos en soluciones acuosas se determinó en un espectrofotómetro de absorción atómica por la técnica de flama en un equipo Perkin Elmer Analyst 100, en un flujo de aire comprimido y acetileno, con rejillas de 0.7 y 5

mA. El Pb (II) fue analizado por el método EPA 7420 con λ de 217 nm, y el Cd por el método EPA 7130 con λ de 228.8 nm.

Procedimiento

- a) Se instala la lámpara de cátodo hueco de plomo o de cadmio respectivamente y se establece la longitud de onda necesaria, se enciende el equipo y se deja estabilizar unos 20 minutos.
- b) Se instala la cabeza del quemador y se ajusta su posición, conectar el aire y seleccionar la velocidad de flujo, lo propio hacer para el acetileno, y dejar estabilizar la llama por unos minutos.
- c) Se ajusta el nebulizador con aspirados de agua desionizada y patrones para poder obtener una máxima sensibilidad. Registrar las absorbancias de los patrones.
- d) Se inyecta la muestra y se atomiza. Finalmente, se determina la capacidad de adsorción (q) de cada uno de los bioadsorbente, a temperatura ambiente de 13°C, agitación durante 60 minutos suficiente para alcanzar el equilibrio. Utilizar la ecuación 1

$$q(\text{mg/g}) = \frac{V(C_i - C_f)}{m} \quad (1)$$

2.7.4.1 Pruebas de Bioadsorción de Pb (II) y Cd utilizando los bioadsorbentes

Los estudios de adsorción se realizaron a temperatura ambiente 13°C, con agitación a un determinado tiempo. La técnica utilizada fue por lotes (Batch); Estas pruebas consiste en contactar las soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} con masas diferentes de los bioadsorbentes de *Minthostachys acris* (MA), *Clinopodium Bolivianum* (CB) y estípites de *Pleurotus spp* (EP), distintos pH y considerando diversos intervalos de tiempo. La preparación de soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} se preparó a partir de las sales de $Pb(NO_3)_2$ y $CdSO_4$ Q.P. a una concentración de 500ppm. Para las pruebas se empleó un equipo de agitación magnética que fue acondicionada (anexo Fig. 7)

2.7.4.2. Estudio del efecto de concentración del bioadsorbente.

Procedimiento:

- a) A partir de la solución madre se preparó volúmenes de 50 mL de soluciones acuosas de 30ppm de Pb^{2+} y Cd^{2+} , se ajusta el pH de 3 y 6 para Pb^{2+} y Cd^{2+} respectivamente con soluciones 0.1N de ácido nítrico y 0.1N de NaOH.
- b) Las soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} individualmente estuvieron en contacto con la masa de cada uno de los bioadsorbentes en un agitador magnético a 250 rpm y durante 60 minutos. Investigaciones preliminares, mostraron que un período de 60 minutos es suficiente para alcanzar el equilibrio (Miretzky et al, 2008).
- c) Se centrifugó a 400 rpm y finalmente se filtró utilizando papel filtro Whatman N° 45, el sobrenadante se coloca a fioles de 50 mL acidulando con ácido nítrico concentrado. Se almacena a 4°C hasta llevar a los laboratorios de servicios de la UNSAAC para la determinación de Pb^{2+} y Cd^{2+} por espectrofotometría de absorción atómica. Cada experimento se realizó por duplicado y con tres repeticiones luego se determinó la masa óptima para cada bioadsorbente. La tabla 6 muestra condiciones para determinar la masa optima de cada bioadsorbente.

Tabla 6 Parámetros y condiciones para optimizar la masa de *Minthostachys acris* (MA), *Clinopodium Bolivianum* (CB) y *estípites de Pleurotus spp* (EP).

Parámetros constantes	Biodsorbentes (g/L)		
	MA	CB	EP
C =30ppm	0,01	0,01	0,03
para Pb (II) y Cd	0,05	0,05	0,05
V= 50mL	0,1	0,1	0,08
T=13°C	0,2	0,2	0,1
t= 60minutos	0,3	0,3	0,12
250rpm	0,5	0,5	0,14
	1,0	1,0	

2.7.4.2 Estudio del efecto del pH

El pH de la solución es el parámetro muy importante que influye en la capacidad de adsorción de metales pesados (adsorbato) sobre la superficie de la biomasa(adsorbente). Las posibles interacciones de diferente naturaleza son afectadas por el pH de las soluciones. (Lavado, 2021)

Procedimiento

- A un volumen de 50 mL de soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} con una concentración de 30ppm se agrega la concentración de biomasa óptima para cada ion metálico y cada bioadsorbente.
- Para cada solución acuosa de Pb^{2+} y Cd^{2+} se hizo el ajuste del pH con soluciones de 0,1N de ácido HNO_3 y 0,1N de NaOH.
- Se colocan la biomasa óptimas de cada bioadsorbente, se agita a 250 rpm por un tiempo de 60 minutos, se centrifuga a 400 rpm, se filtró utilizando papel filtro Whatman N.º 45, el sobrenadante se coloca a fioles de 50 mL acidulando con ácido nítrico concentrado, Se almacena a 4°C hasta llevar a los laboratorios de servicios de la UNSAAC para la determinación de Pb^{2+} y Cd^{2+} por espectrofotometría de absorción atómica.
- Cada experimento se realizó por duplicado y con tres repeticiones luego se determinó el pH óptimo para cada bioadsorbente ver la tabla 7.

Tabla 7 Parámetros y condiciones para optimizar el pH *Minthostachys acris* (MA), *Clinopodium Bolivianum* (CB) y *estípites de Pleurotus spp* (EP).

Parámetros constantes	Biodsorbentes					
	MA		CB		EP	
	m(0.1g/L)	m(0.3g/L)	m(0.3g/L)	m(0.3g/L)	m(0.1g/L)	m(0.1g/L)
	Pb pH	Cd pH	Pb pH	Cd pH	Pb pH	Cd pH
C=30ppm (Pb)	2	1	2	1	2	1
C=30ppm (Cd)	3	2	3	2	2,5	2
V= 50mL	3,5	3	3,5	3	3	3
T= 13°C	4	4	4	4	3,5	4
t= 60 minutos	4,5	5	4,5	5	4	5
250 rpm	5	6	5	6	4,5	6
		7		7	5	7

2.7.5 Isotermas de adsorción

Para este estudio se consideró los modelos de Langmuir y de Freundlich en los cuales se determinó q_e (capacidad de adsorción de cada bioadsorbente en estudio en el equilibrio) y C_e (concentración del adsorbato en el equilibrio), en concentraciones de soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} de 10,20,30,40,50 y 60 ppm respectivamente. Se trabajó con los bioadsorbentes MA, CB y EP de forma individual para cada metal.

Procedimiento:

- a) Se prepararon soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} desde 10 hasta 60 ppm por separado (Tabla 8)
- b) Se midieron 50 mL de soluciones acuosas de Cd^{2+} , de cada una de las concentraciones y se agregó 0,3g/L de *Mintostachis acris* (MA) y *Clinopodium bolivianum* (CB) y 0,1g/L para estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP)
- c) Para cada solución acuosa de Pb^{2+} y Cd^{2+} se hizo el ajuste del pH con soluciones de 0,1N de ácido HNO_3 y 0,1N de NaOH. El pH óptimo para cadmio es de 6 en los 3 bioadsorbentes, y de 3 para el Pb (II) con MA y CB y de pH 5 con EP.
- d) Las soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} con las masas óptimas y pH óptimos se agitan a 250 rpm, durante un periodo de 60 minutos. Terminado el proceso de agitación se centrifugaron a 400rpm, se filtraron utilizando papel filtro Whatman N.º 45, el sobrenadante se aciduló con ácido nítrico concentrado.
- e) Se almacena a 4°C hasta llevar a los laboratorios de servicios de la UNSAAC para la determinación de Pb^{2+} y Cd^{2+} por espectrofotometría de absorción atómica. luego se determinó la concentración óptima de los metales en estudio, el % de remoción, las isotermas para cada bioadsorbente con graficas Q_e Vs C_e y por último se construyen las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich para obtener los cálculos de los parámetros fundamentales (Larenas, Andrango, & Inga, 2008).

Tabla 8 *Parámetros y condiciones para el estudio de las isotermas de MA (Mintostachys acris), CB (Clinopodium bolivianum), EP (estípites de Pleurotus spp)*

Parámetros constantes	Bioadsorbentes		
	MA m(0.3g/L) Pb y Cd Ci(ppm)	CB m(0.3g/L) Pb y Cd Ci(ppm)	EP m(0.1g/L) Pb y Cd Ci(ppm)
V = 50mL	10	10	10
T = 13 °C	20	20	20
250rpm	30	30	30
t = 60 min	40	40	40
pH 3 Pb (II), MA y CB	50	50	50
pH = 5 Pb (II), con EP			
PH = 6 Cd, con MA, CB y EP	60	60	60

2.7.5.1. Isoterma de Langmuir

Para la obtención de la isoterma se utilizó los datos experimentales de las tablas 9.1,9.2 y 9.3 para Cd y 10.1, 10.2 y 10.3 para plomo del anexo I, y con la construcción de las gráficas de C_e/Q_e vs C_e , para cada bioadsorbente en estudio se hace uso de la ecuación 10, y se pudo determinar las constantes de la isoterma de Langmuir a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación lineal.

Ecuación linealizada de Langmuir:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{bQ_{max}} + \frac{1}{Q_{max}} \quad (10)$$

Donde:

Q_{max} : Capacidad máxima de adsorción (mg/g).

b: Constante de Langmuir relacionada con la fuerza de enlace (L/mg).

C_e : Concentración del metal en el equilibrio (mg/L).

Q_e : Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

Un parámetro característico de la isoterma de Langmuir es el parámetro adimensional R_L , llamado factor de separación o factor de equilibrio. Se determino utilizando la ecuación 17.

$$R L = \frac{1}{1+b C_i} \quad (17)$$

Donde:

C_i = Concentración inicial del adsorbato en solución (mg/L).

Con este parámetro se podrá ver el comportamiento de la isoterma según las características siguientes:

($0 < R_L < 1$) Isotherma favorable en el sistema

($R_L = 0$) Isotherma irreversible en el sistema

($R_L = 1$) Isotherma lineal en el sistema

($R_L > 1$) Isotherma desfavorable en el sistema debido a que se observa que la sorción del metal no es significativa.

2.7.5.2. Isotherma de Freundlich

Para la obtención de la isoterma se utilizó los datos experimentales del anexo I de las tablas 9.1,9.2 y 9.3 para Cd; y 10.1,10.2 y 10.3 para Pb^{2+} y con la construcción de las gráficas de $\ln Q_e$ vs $\ln C_e$, para cada bioadsorbente en estudio se hace uso de la ecuación lineal 12; y se pudo determinar las constantes de la isoterma de Freundlich a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación lineal.

$$\ln Q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} C_e \quad (12)$$

Donde:

C_e : Concentración del metal en el equilibrio (mg/L).

Q_e : Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

K_F : Constante de Freundlich ($mg^{1-1/n} L^{1/n} g^{-1}$)

n : Posiciones para la intensidad de adsorción.

2.7.6 Estudio cinético

Los estudios de cinética de adsorción de las soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} fueron desarrollados por la técnica por lotes, donde se determinó la variación de la

capacidad de adsorción en función del tiempo. Para determinar la cinética de adsorción los resultados fueron analizados con las ecuaciones de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden (Ho & McKay, Pseudo-second order model for sorption processes. , 1999)

Procedimiento

- a) En 3 vasos de 250 mL se coloca un volumen de 200 mL de soluciones acuosas con una concentración de 30ppm de Pb^{2+} , se agregó 0,1g/L de MA y 0,1g/L de EP, al vaso 1 y vaso 2 respectivamente; y 0,3g/L de CB al vaso 3.
- b) En 3 vasos de 250 mL se coloca un volumen de 200 mL de soluciones acuosas con una concentración de 30ppm de Cd^{2+} , se agregó 0,1g/L de MA y 0,1g/L de EP, al vaso 4 y vaso 5 respectivamente; y 0.3g/L de CB al vaso 6.
- c) Para cada solución acuosa de Pb^{2+} y Cd^{2+} se hizo el ajuste del pH con soluciones de 0.1N de ácido HNO_3 y 0.1N de NaOH. El pH óptimo para cadmio es de 6 y de 4 para el plomo para los 3 bioadsorbentes.
- d) Cada una de las soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} con las masas optimas de cada bioadsorbente y pH óptimos se agitan en el agitador a 250 rpm, el sistema fue sometido a diferentes tiempos según la tabla 10.
- e) En cada intervalo del tiempo se toma volúmenes alícuotas de 20 mL y se colocan en vasos precipitados de 25 mL, se centrifugo a 400 rpm, se filtraron utilizando papel filtro Whatman N.º 45, el filtrado se acidulo con ácido nítrico concentrado. Se almacena a 4°C hasta llevar a los laboratorios de servicios de la UNSAAC para la determinación de Pb^{2+} y Cd^{2+} por espectrofotometría de absorción atómica.
- f) Cada experimento se realizó por duplicado y con tres repeticiones luego se determinó el tiempo de contacto que alcanzo el equilibrio con cada bioadsorbente para determinar la cinética de adsorción que sigue cada bioadsorbente.

Tabla 9 Parámetros y condiciones para el estudio cinético de MA (*Minthostachys acris*), CB (*Clinopodium bolivianum*), EP (*Estípites de Pleurotus spp*)

Parámetros constantes	Bioadsorbentes		
	MA Pb y Cd t(min)	CB Pb y Cd t(min)	EP Pb y Cd t(min)
V = 200mL	4	4	5
C = 30ppm	6	6	10
para Cd y Pb (II)			
T = 13 °C	12	12	20
250rpm	22	22	30
	32	32	40
	40	40	60
	60	60	80
	120	120	100
	400	400	120

2.7.6.1 Modelo de pseudo primer orden

Según la ecuación lineal 4

$$\ln(qe - qt) = \ln qe - k_1 t \quad (4)$$

se pudo graficar los datos experimentales de la cinética de adsorción y se determinaron las constantes correspondientes a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

2.7.6.2 Modelo de pseudo segundo orden

Según la ecuación 8 se pudo graficar con los datos experimentales de cinética de adsorción y se determinaron las constantes cinéticas correspondientes a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{q_e} t \quad (8)$$

2.8 Técnicas de análisis e interpretación de la información

Para el análisis estadístico y determinar la masa de los bioadsorbentes, pH y tiempo de contacto óptimos del proceso de adsorción de soluciones acuosas de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) se utilizó la estadística descriptiva no paramétrica, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Según la ecuación 14

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^K \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (14)$$

2.9 Pruebas de adsorción de *Mintosthachys acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp cultivado* (EP) para plomo (II) y Cd en aguas residuales, del laboratorio de servicios de química de espectroscopia y cromatografía de la UNSAAC

Para ver la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) en muestras de aguas reales, se trabajó con las aguas residuales del laboratorio de servicios de espectroscopia y cromatografía de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco específicamente se tomó la muestra del frasco receptor de aguas contaminadas del equipo de espectrometría de absorción atómica. La técnica desarrollada fue por (lotes).

Procedimiento

- a) El agua residual de los procesos de análisis de todas las muestras procesadas en el periodo de enero-marzo del 2023 por el equipo de espectrofotometría de absorción atómica se recolecto y se llevó al laboratorio de química inorgánica de la Universidad San Antonio Abad del Cusco. (anexo) Fig. 9
- b) Se describe propiedades físicas del agua residual y se caracteriza.
- c) Se mide un litro del agua residual del volumen total del muestreo y determina el pH inicial de la muestra y se filtra utilizando papel filtro Whatman Nro 40
- d) Se miden un volumen de 50 ml de la muestra filtrada, en 6 vasos de 250 ml, se vuelve a medir el pH.

- e) Para determinar la propiedad de adsorción de los tres bioadsorbentes en el agua residual se pesa 0,3g de *Mithostachys acris* (MA), 0,3g de *Clinopodium bolivianum* (CB) y 0,1 g a estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP), se trabaja independiente de cada metal.
- f) Para la determinación de plomo se ajusta el pH de la muestra a 4 y para la determinación de Cd a pH 6. El ajuste de pH de las muestras se realizó con soluciones de 0,1 N de hidróxido de sodio y ácido nítrico. y se mide la concentración inicial de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) presentes en la muestra del agua residual.
- g) A cada vaso con el volumen de 50 ml de muestra se colocan cada uno de los bioadsorbentes con los pesos correspondientes.
- h) Se llevan al agitador magnético durante una hora, esperamos que sedimente, se centrifuga a 400rpm y se filtra con papel filtro Whatman Nro 40. (se realiza un primer y segundo tratamiento)
- i) Finalmente se determina la concentración final de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) por absorción atómica en cada una de las muestras. La tabla 10 detalla parámetros y condiciones para la prueba de los bioadsorbentes MA, CB y EP en aguas residuales.

Figura 21 Diagrama de bloques para la adsorción de Pb (II) y Cd de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco con MA, CB y EP

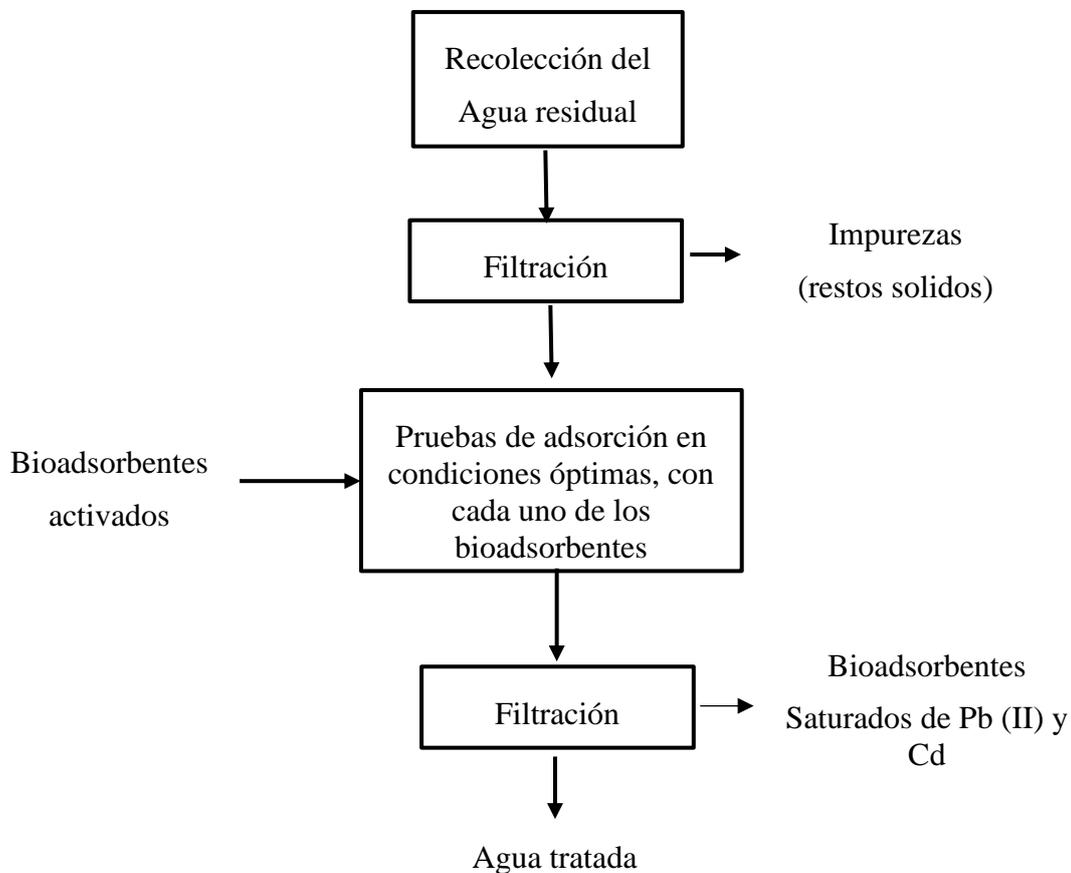


Tabla 10 parámetros y condiciones para la prueba de adsorción de MA (*Minthostachys acris*), CB (*Clinopodium bolivianum*), EP (*Estípites de Pleurotus spp*), en aguas residuales

Parámetros	pH	Metal	Adsorbentes
constantes			
V =50mL T = 13 °C t = 60 min	4	Pb (II)	MA = 0.3g
			CB = 0.3g
			EP = 0.1g
250rpm	6	Cd	MA = 0.3g
			CB = 0.3g
			EP = 0.1g

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Preparación del bioadsorbente

3.1.1 Preparación del bioadsorbente sin clorofila

Para la obtención de los biomateriales *Minthostachys acris* (MA) y *Clinopodium bolivianum* (CB), se sigue con los procesos de acuerdo a los diagramas de flujo según las figuras 19 y 20 independientemente para cada biomaterial, obteniéndose las figuras 21, 22 del diagrama de flujo con los resultados para cada bioadsorbente; y se realiza la tabla 12.

Figura 22 Diagrama de flujo de la obtención de *Minthostachys acris* (MA) con resultados

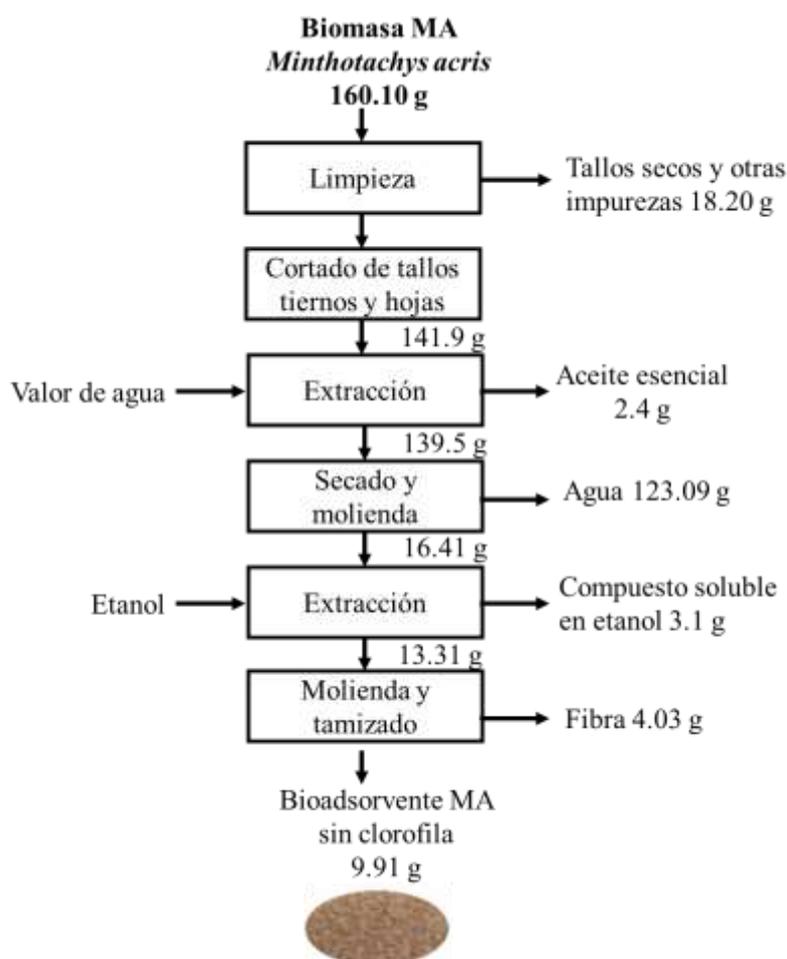
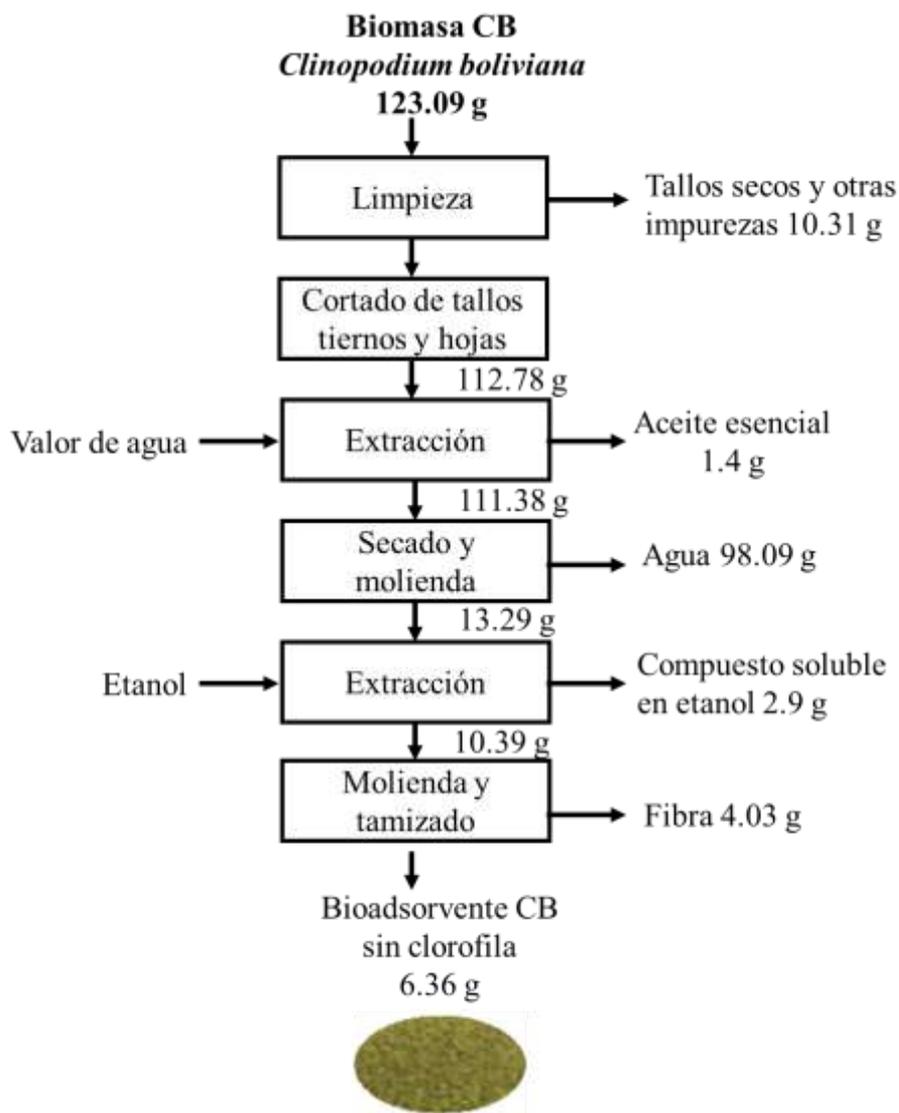


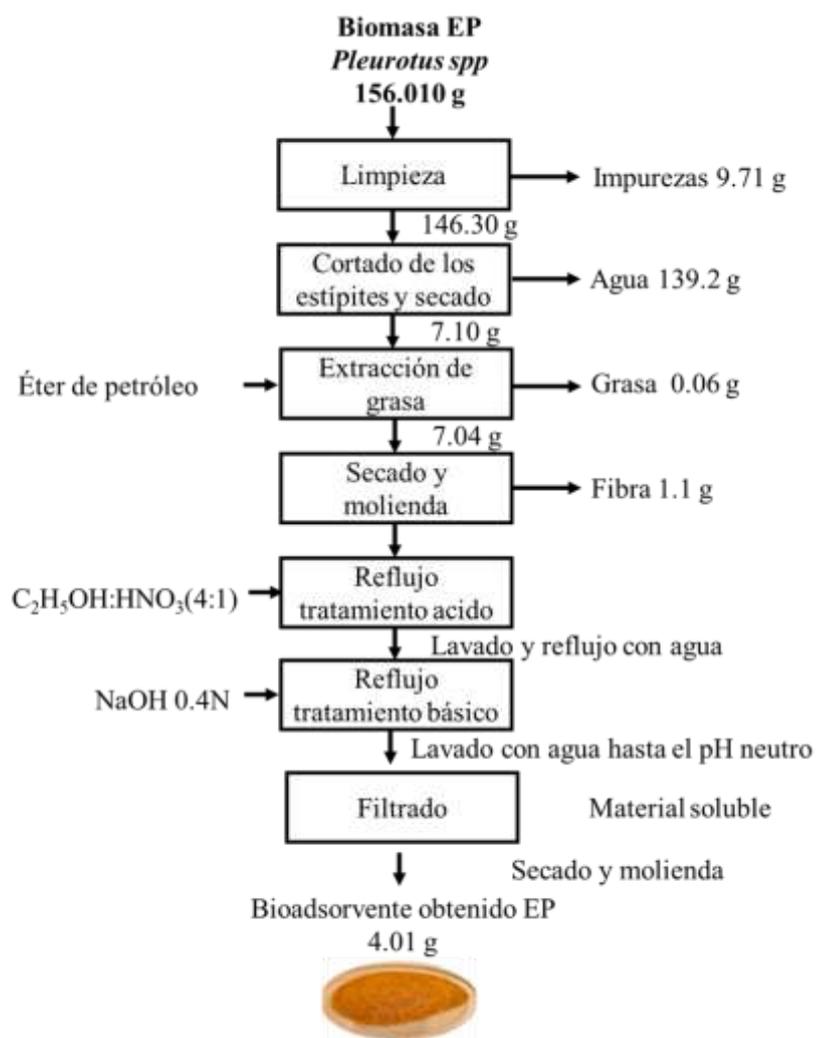
Figura 23 Diagrama de flujo de la obtención de *Clinopodium bolivianum* (CB), con resultados



3.1.2 Preparación del bioadsorbente mediante un tratamiento ácido básico

Los estípites de los hongos *Pleurotus spp* cultivado (EP), se hizo un tratamiento ácido base y se sigue los procesos según la Fig. 18, finalmente los resultados se obtienen de la Fig.23; y se complementa con la tabla 11.

Figura 24 Diagrama de flujo de la obtención de los estípites de *Pleurotus spp* (EP), con resultados.



3.2 Caracterización de los bioadsorbentes

3.2.1 Análisis proximal de los bioadsorbentes

Los bioadsorbentes obtenidos son analizados en la forma seca para determinar los % de humedad, de proteína, de grasa, de ceniza, de fibra y de carbohidratos.

Tabla 12 Resultados del análisis proximal de *Minthostachys acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* (CB), estípites de *Pleurotus spp* cultivados (EP)

Parámetros	Bioadsorbentes		
	MA	CB	EP
Humedad %	7.66	8.10	8.29
Proteínas %	6.58	5.15	11.15
Grasa %	1.42	1.36	1.20
Ceniza %	7.49	4.93	6.22
Fibra %	29.90	31.40	12.30
Carbohidratos %	79.85	80.46	73.14

De la tabla 12 se observa que los bioadsorbentes MA, CB y EP tiene un alto porcentaje de carbohidratos.

3.2.3 Análisis de los bioadsorbentes por Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR)

Los espectros FTIR de los bioadsorbentes se determinaron antes y después del contacto con las soluciones acuosas de (Pb^{2+} y Cd^{2+}). Para determinar los espectros FTIR, se utilizó el Espectrómetro Nicolet TM 380 FT-IR con accesorio Smart iTX- TM y con cristal de diamante. Los espectros IR se registraron con una resolución de 4 cm^{-1} , y 32 barridos.

3.1.2.1 Espectros FTIR de los bioadsorbentes puros

Figura 25 Espectro FTIR de los estípites de *Pleurotus spp* cultivados (EP) con tratamiento acido-base(ab)

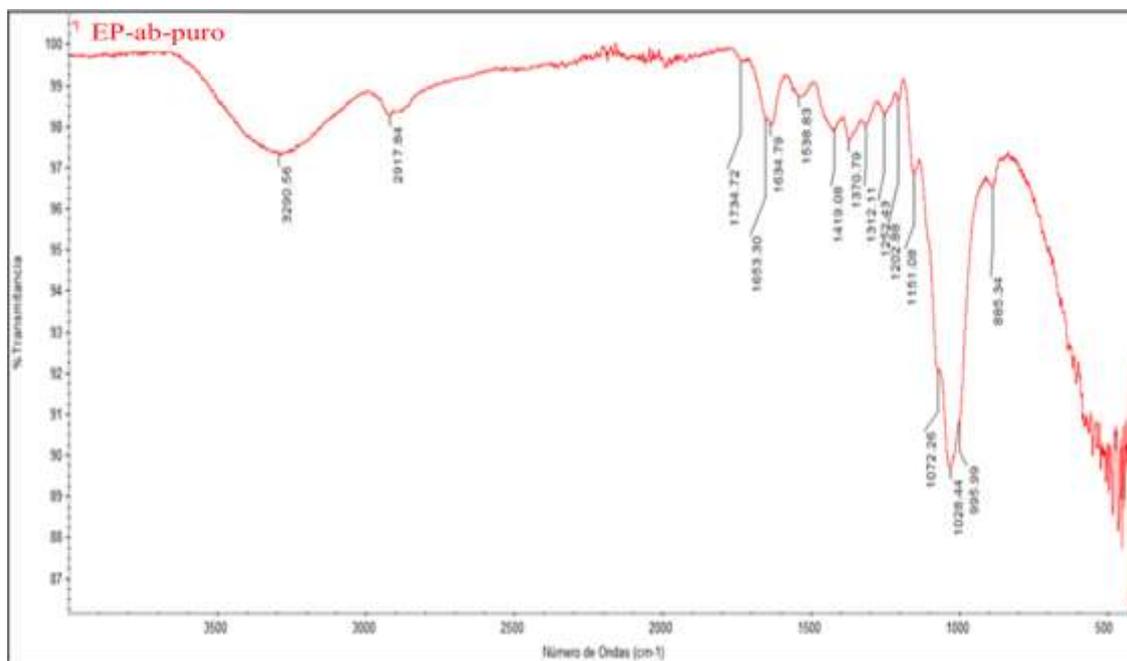


Figura 26 Espectro FTIR de *Clinopodium bolivianum* (CB)

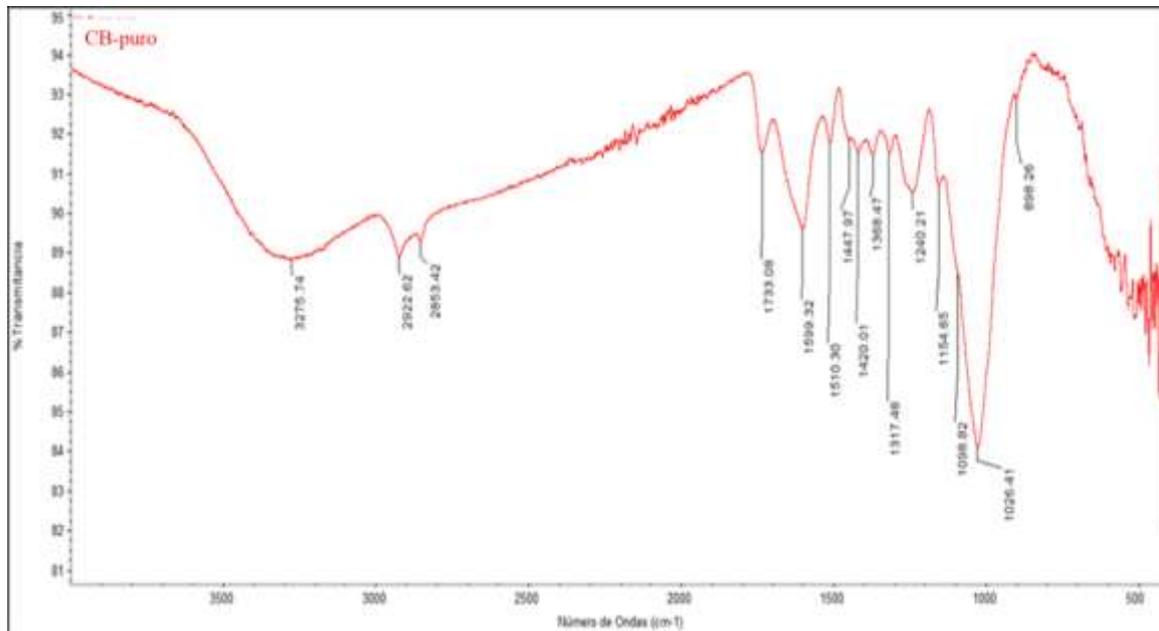


Figura 27 Espectro FTIR de *Minthostachys acris* (MA)

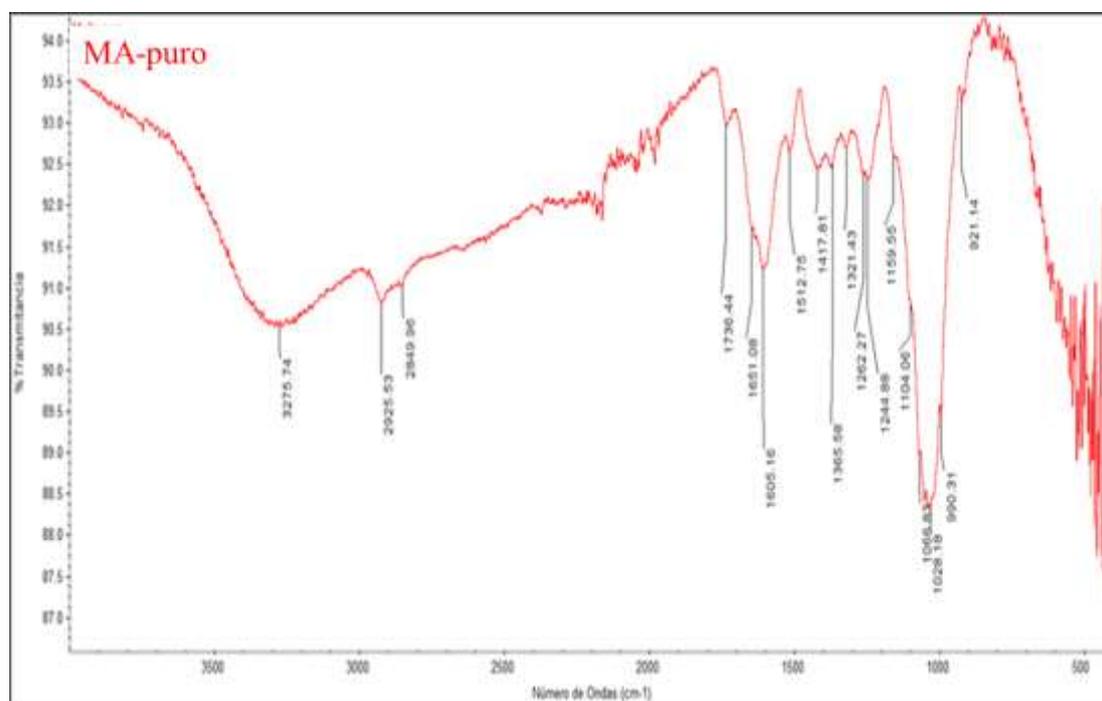


Tabla 13 Bandas de absorci6n encontradas en los bioadsorbentes puros seg6n las figuras 24,25 y 26

Bandade absorci6n(cm^{-1})	Grupo funcional	Rango (cm^{-1})	Referencia
3290.56 *	O-H	3000 -3500	son caracter6sticas de los polisac6ridos y se atribuye a la Vibraci6n del estiramiento O-H en los puentes de hidr6geno, indicando las posibles interacciones intermoleculares que las cadenas del polisac6rido pudieron haber establecido (Mondrag6n , 2020) La T6pica vibraci6n N-H, aproximadamente 3400 cm^{-1} puede superponerse con el estiramiento OH vibraci6n a 3000–3500 cm^{-1}
3275.74**			
3275.74***			
2917.84*	C-H	2800-3000	Estiramiento C-H para carbohidratos 2920 cm^{-1} , relacionado con la vibraci6n de estiramiento (asim6trica) del enlace C-H. 2850 cm^{-1} , relacionado con la vibraci6n de
2922.62**			
2853.42**			
2925.53***			

Bandade absorción(cm^{-1})	Grupo funcional	Rango (cm^{-1})	Referencia
2849.96***			estiramiento (simétrica) del enlace C-H (Barka y otros, 2013)
1634.79*	C = O	1650-1515	Las amidas muestran una banda de absorción del grupo carbonilo conocida como banda de la amida I (Fernández G. , 2014).
1733.42*			
1599.32**			
1733.08**		1640-1550	
1605.16***			Flexión N-H en amidas (Fernández G. , 2014).
1736.44***			
1419.08*	- COO- y C=O	1460-1420	Señales débiles que corresponde a vibraciones simétricas en distintas conformaciones de compuestos orgánicos oxigenados (Zhang y otros, 2010).
1420.01**			
1417.81***			
1370.79*	C -N y N - H	1370-1315	Enlaces de diferentes compuestos orgánicos nitrogenados para enlace de C-N y N-H (107, 166, 31) (Suteu y otros, 2010).
1366.47**			
1321.43***			
1262.43*	C-O-R y H- C=O	1260-1230	correspondiente a la vibración de extensión C-O-R. sí existen señales entre 2745-2710 podría ser una señal para el grupo aldehído (Iqbal y otros, 2009).
1240.21**			
1244.88***			
1028.44*	C - O - C	900–1150	Para C - O – C; vibración del anillo de la β -glucopiranososa que constituye en la celulosa (Joelmy y otros, 2017)
1026.41**			
1028.28***			
			El pico de absorción entre 1.066 y 1.050 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones de los grupos C-O-C del anillo de la β -glucopiranososa que constituye a la celulosa (Joelmy y otros, 2017).
995.99.04*	enlace β (1,3)	890 ± 7	Indica la existencia de enlaces glucosídicos, que significan que los residuos de la glucosa están unidos de forma β (1,3). Un pico a $890\ cm^{-1}$ enlaces β -glicosídicos (Akar y otros, 2006).
885.34*			
898.26**			
990.31***			
921.14***			

Bandas de absorción de estípites de *Pleurotus spp* (EP)*, *Clinopodium bolivianum* (CB)** y *Mintosthachys acris* (MA) ***

Región de 3500-3000 cm^{-1} .

Según las figuras 26,27 y 28; como los resultados de la tabla 13 los bioadsorbentes muestran señales correspondientes en cada región, como a 3290.56, 3268.99 y 3277.07 cm^{-1} que corresponden a señales de EP, CB y MA respectivamente. Señales características de los polisacáridos y se refieren a la vibración de estiramiento del grupo O-H.

Región 2800 -3000 cm^{-1}

Se ubican las señales que corresponden a la vibración de estiramiento asimétrico del enlace C-H 2917.84, 2922.62 y 2925.53 cm^{-1} , para EP, CB y MA respectivamente. La vibración de estiramiento simétrico C-H 2853.42 y 2849.96 cm^{-1} , para CB y MA respectivamente Según la tabla 13 y las figuras 24,25 y 26 los valores de intensidad de los bioadsorbentes se encuentran muy cercanos a los valores de estiramiento C-H de los carbohidratos (Martin Mondragón Cortez ,2020).

Región de 1850-1500 cm^{-1} .

En esta región, llamada de los dobles enlaces, aparecen los enlaces de vibración C=C y C=O. La banda asociada con el enlace C=O es intensa y aparece, dependiendo del compuesto, entre 1830 y 1650 cm^{-1} , por ejemplo, en esta región se encuentra el grupo carbonilo C=O. En las proteínas en la región de 1650 cm^{-1} . Las amidas muestran una banda de adsorción del grupo carbonilo; como banda de la amida I en el rango de 1700-1600(Martin Mondragón Cortez ,2020). Los bioadsorbentes en estudio muestran las señales de 1634.79,1599.32 y 1605.16 cm^{-1} , para EP, CB y MA respectivamente.

En la región 2000-1550 cm^{-1}

Se identifica la vibración por tensión del grupo C=O asociado a esteroides, ácidos carboxílicos, aldehídos, cetonas; las señales según la tabla 1 se tienen la intensidad en 1734.72, 1733.08 y 1736.44 cm^{-1} , para EP, CB y MA, respectivamente.

Al analizar muestras sólidas que contienen agua, puede comprobarse con una banda entre 1630 y 1650 cm^{-1} como es el caso de las muestras analizadas. Autores reportan que el aumento de la intensidad se basa en el alargamiento de los enlaces de hidrógeno y la flexión del O-H que están unidos a la estructura de celulosa aumentando la absorción de agua. De igual forma, aún con secado, el agua adsorbida en las moléculas de celulosa es muy difícil de extraer debido a la interacción celulosa-agua el

estiramiento del O-H observándose una señal a 1640 cm^{-1} . (Martin Mondragón,2020)
En los espectros según las figuras 24,25 y 26 estas señales pueden estar traslapados por la vibración de extensión del grupo carbonilo correspondiente a la amida I (Sanchez , 2015)

Región 1150-825 cm^{-1} ,

Aparecen picos intensos relacionados con diferentes vibraciones de enlace C-O (estiramiento), C-H (balanceo) y C-O-C (estiramiento/balanceo), para celulosa, y las bandas entre los 1200-1000 cm^{-1} se relacionan con la presencia de enlaces glicosídicos en moléculas cíclicas, características tanto en la quitina y el quitosano como en los β -glucanos al ser polisacáridos (Limberger y otros, 2014). En la región 1070 y 1024 cm^{-1} ,señales características de los enlaces glicosídicos cíclicos con la presencia de enlaces C-O-C y finalmente una pequeña banda entre 1000-850 cm^{-1} que indica enlaces glicosídicos β . (Silverstein & Bassler, 1962). La región de banda entre 1200 a 800 cm^{-1} (1149,1078 y 1004), que corresponden a la vibración del estiramiento C-C y C-O H, C-O-C en los enlaces glucosídicos de los polisacáridos. Se pueden apreciar tres senales, una a 1149 cm^{-1} , otra a 1078 cm^{-1} y una a 1004 cm^{-1} , todas estas corresponden a las vibraciones del estiramiento de C-O-C y C-OH en los enlaces glucosídicos de los polisacáridos (Jiang y otros, 2011) confirmando la presencia de polisacáridos. Según las Fig. 24, 25y 26 y la tabla 13, los bioadsorbentes en estudio presentan bandas de intensidad a 1028.97, 1024.02 y 1025.15 cm^{-1} , para EP, CB y MA muy cercanos a 1024 y 1025 cm^{-1} , lo que evidencia los enlaces β presentes en la cadena glucosídica (Gañan, 2017). Otra característica para celulosa se tiene la vibración del grupo de carbono anomérico de carbohidrato, C1-H, a 898 cm^{-1} (Gañan, 2017)

bioadsorbentes en estudio presentan señales de 885.34,898.28 y 921 cm^{-1} , para EP, CB y MA. Las señales entre 850 y 931 cm^{-1} son atribuidos a los α glicosídico (Limberger y otros, 2014).

De las figuras,24,25, y 26 ,como la tabla 13 podemos decir que los espectros de los tres bioadsorbentes no presentan diferencias significativas , solamente podemos ver pequeñas diferencias en las intensidad de los picos en el rango de 3000-3500 cm^{-1} y el rango de 800 – 1750 cm^{-1} .Los estudios realizados por Javier Sánchez Pina,2014 en la capacidad de adsorción de Pb(II), Zn, y Cr(III) de soluciones acuosas por las acículas de pino indica que el bioadsorbente puro y tratado en medio de HCl y NaOH no

presentaron diferencias en las regiones $1060-1715\text{cm}^{-1}$ y esta región corresponde al grupo C=O del grupo éster. Pero si difieren en las intensidades de los picos, indicando que se deben al tratamiento ácido-básico (Sánchez P. , 2014)

En los estudios realizados por (Yadav y otros, 2023) con el micelio del hongo *Pleurotus opuntiae* encuentra señales de los espectros IR de $3292, 1737$ y 1024 cm^{-1} ; señales muy parecidas a los espectros de EP de 3290.56 que correspondería a la vibración de estiramiento de O-H y de N-H de la amida que estaría solapado en esa región. La señal de 1734.72 cm^{-1} que corresponde al grupo C=O. y la señal 1028.44 cm^{-1} que corresponde al enlace -C-O-C- del anillo glucopiranososa (Shuhong Y. y otros, 2014).

Las señales en el rango de $3600-3200\text{ cm}^{-1}$ para el quitosano corresponden la vibración de estiramiento de O-H y N-H, las señales 2927 y 2871 cm^{-1} corresponden a la vibración de estiramiento de C-H en el $-CH_2$, la señal de 1665 cm^{-1} corresponde a la vibración de flexión de N-H en el $-NH_2$ de amida I y 1026 cm^{-1} corresponde al enlace -C-O-C- del anillo piranososa según los estudios de (Silverstein & Bassler, 1962) La quitina es un componente mayoritario en los hongos que por tratamiento ácido se convierte en quitosano.

Las ligeras diferencias detectadas en la zona del espectro relativa a los enlaces C-H no se asume al fenómeno de bioadsorción, se podría justificarse que se debe a múltiples posibles estados vibratorios en los compuestos orgánicos. (Lezcano , 2008)

3.1.2.2 Espectros FTIR de los bioadsorbentes después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio

Figura 28 Espectro FTIR de estípites de *Pleurotus spp* (EP)-Plomo (II)

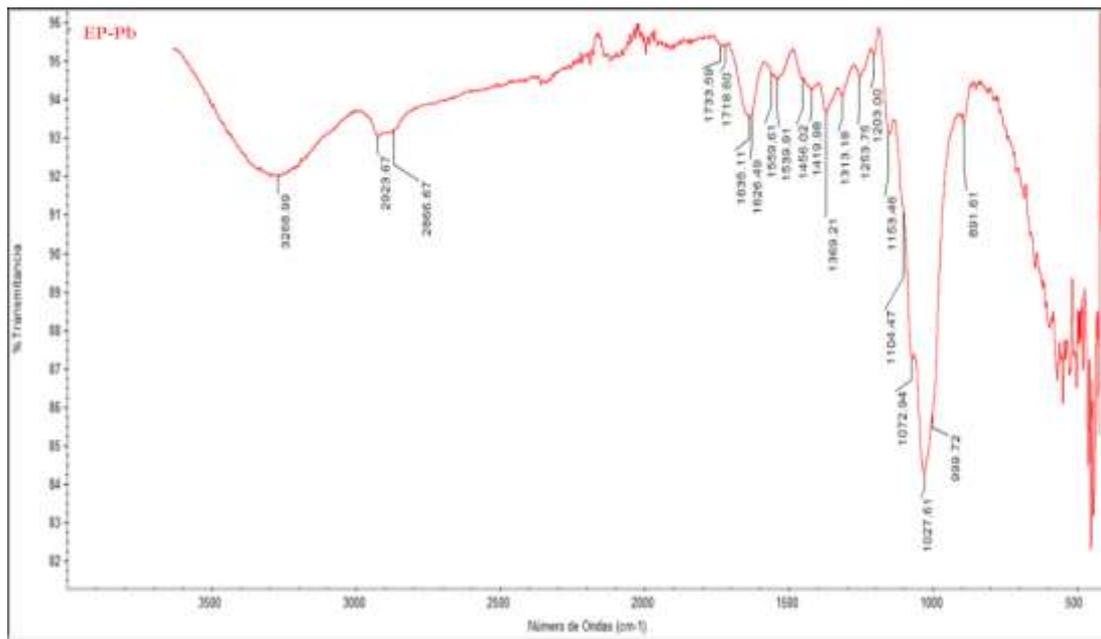


Figura 29 Espectro FTIR de estípites de *Pleurotus spp* (EP) - cadmio

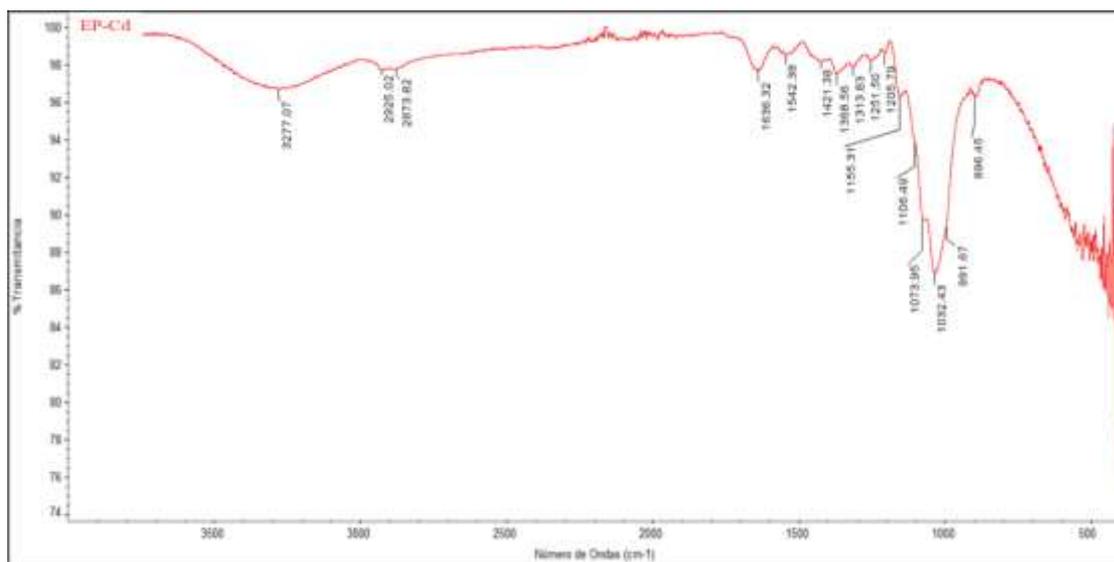


Figura 30 Espectro FTIR de *Clinopodium bolivianum* (CB) -plomo (II)

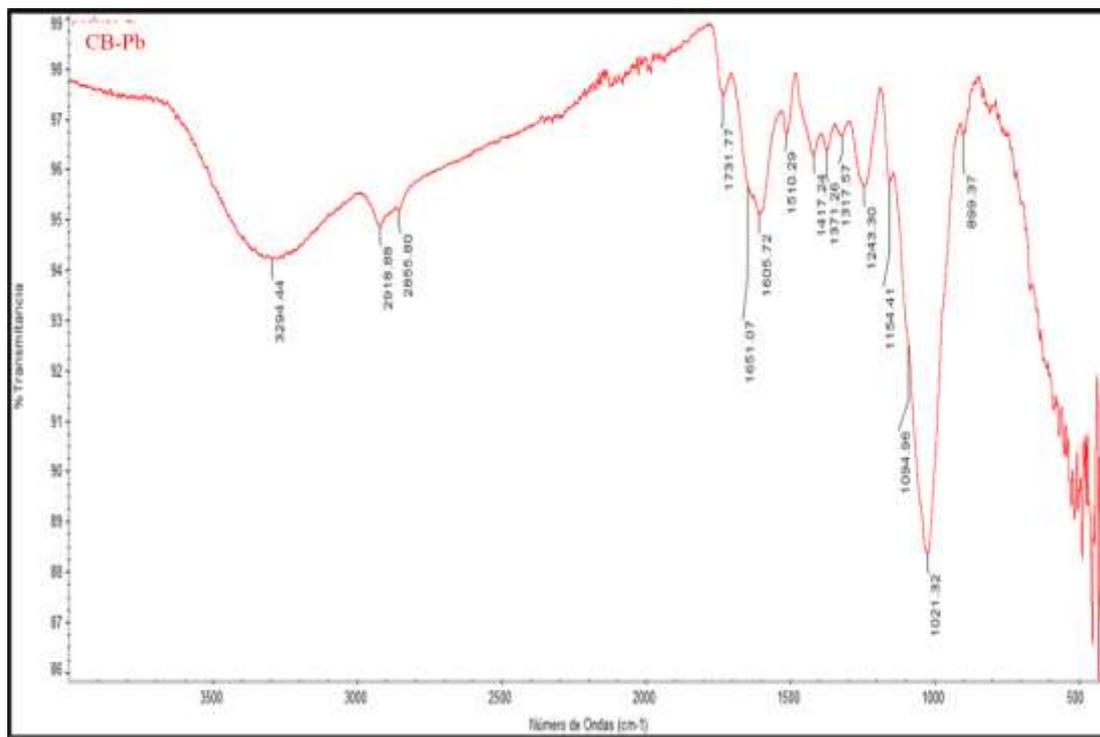


Figura 31 Espectro FTIR de *Clinopodium bolivianum* (CB)- cadmio

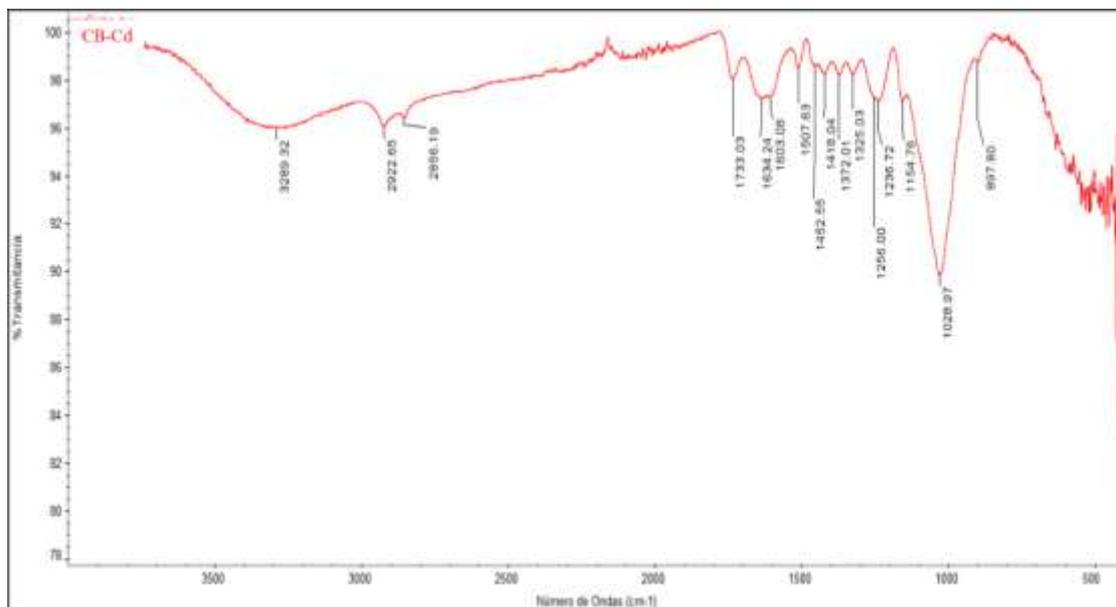


Figura 32 Espectro FTIR de *Minthostachys acris* (MA)- plomo (II)

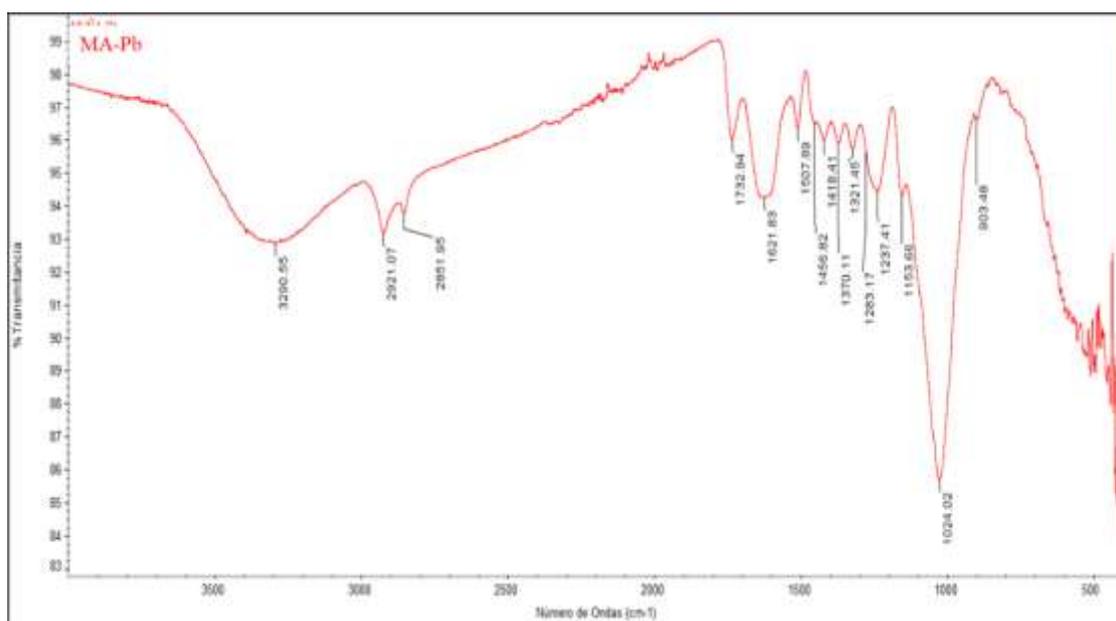


Figura 33 Espectro FTIR de *Minthostachys acris* (MA)– cadmio

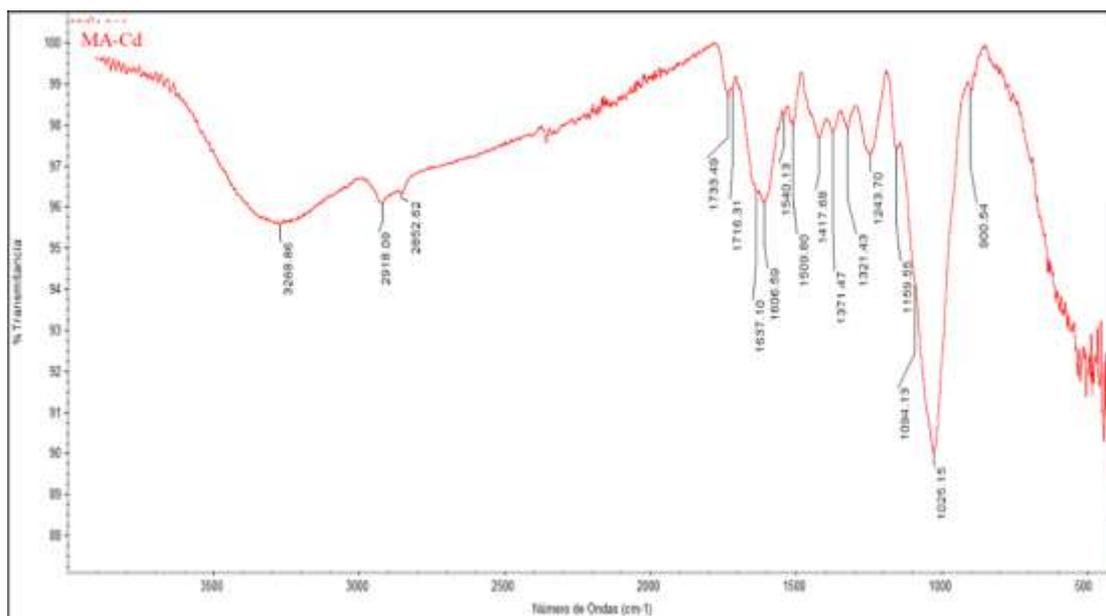


Tabla 14 Bandas de absorción de estípites de *Pleurotus spp* (EP) después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio

EP - puro (cm ⁻¹)	EP - Pb (II) (cm ⁻¹)	EP - Cd (cm ⁻¹)
3290,56	3268,99	3277,07
2917,64	2923,67	2928,02
	2866,67	2873,82
1634,79	1626,49	1636,32
1734,72	1737,59	
1538,83	1539,91	1542,38
1419,08	1419,98	1421,38
1370,79	1369,21	1368,56
1252,43	1253,75	1251,50
1151,08	1153,46	1155,31
1028,44	1027,61	1032,43
995,99	999,72	991,67
885.34	891.61	896,45

Tabla 15 Bandas de absorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio

CB - puro (cm ⁻¹)	CB - Pb (II) (cm ⁻¹)	CB - Cd (cm ⁻¹)
3275.74	3294.44	3289.32
2922.62	2918.89	2922.65
2853.42	2855.89	2856.19
1733.08	1731.77	1733.03
1599.32	1605.72	1634.24
1510.30	1510.20	1507.63
1420.01	1417.24	1418.04
1366.47	1371.26	1371.47
1240.21	1243.30	1236.72
1159.65	1154.41	1154.76

1026	1021.32	1028.97
898.26	899.37	897.80

Tabla 16 Bandas de absorción de *Minthostachys acris* (MA) después del tratamiento con soluciones acuosas de plomo (II) y cadmio

MA - puro (cm ⁻¹)	MA -Pb (II) (cm ⁻¹)	MA - Cd (cm ⁻¹)
3275.74	3290.55	3269.36
2925.53	2921	2919.09
2849.16	2851	2852.62
1736.44	1732.94	1716.31
1605.16	1621.83	1606.59
1512.76	1507	1509.80
1417.81	1418.41	1417.68
1365.58	1370.11	1371.47
1244.68	1237.41	1243.70
1151.09	1153.56	1159.55
1026.18	1024.02	1026.15
990.31	903.48	
821.14		900.54

Según las figuras 28 del sistema EP-Pb, 29 del sistema EP-Cd, 30 del sistema CB-Pb, 31 del sistema CB-Cd, 32 del sistema MA-Pb y 33 del sistema MA-Cd; como las tablas 14,15 y 16 muestran los espectros FTIR de cada uno de los bioadsorbentes después del tratamiento con soluciones acuosas de (Pb^{2+} y Cd^{2+}); se puede distinguir que los picos equivalentes se fueron desplazando a números de ondas inferiores o superiores, existiendo variaciones pequeñas en el número de onda y mayor es la diferencia en la transmitancia confirmando la diferencia entre cada tratamiento, lo que nos puede indicar que cada bioadsorbente tiene el efecto de retención de los cationes de (Pb^{2+} y Cd^{2+}).

Según los estudios realizados por Javier Sánchez Pina, 2014 los espectros FTIR del bioadsorbente de acículas de pino después del proceso de adsorción de Cd, Zn y Cr

(III) de soluciones acuosas en relación al bioadsorbente puro son similares existiendo solo ligeras diferencias de la intensidad especialmente próximas a 1715 cm^{-1} .

Los grupos O-H del grupo carboxilo son característicos con señales cercanas 3200 cm^{-1} , siendo los responsables de la captura de iones de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) de soluciones acuosas, asimismo, se observan bandas variadas e intensas centradas alrededor de 1500 a 1750 cm^{-1} que correspondería a los grupos carbonilo de amida I, amida II y grupo éster presentes como al doble enlace C=C aromático (Forster & Wase, 1997).

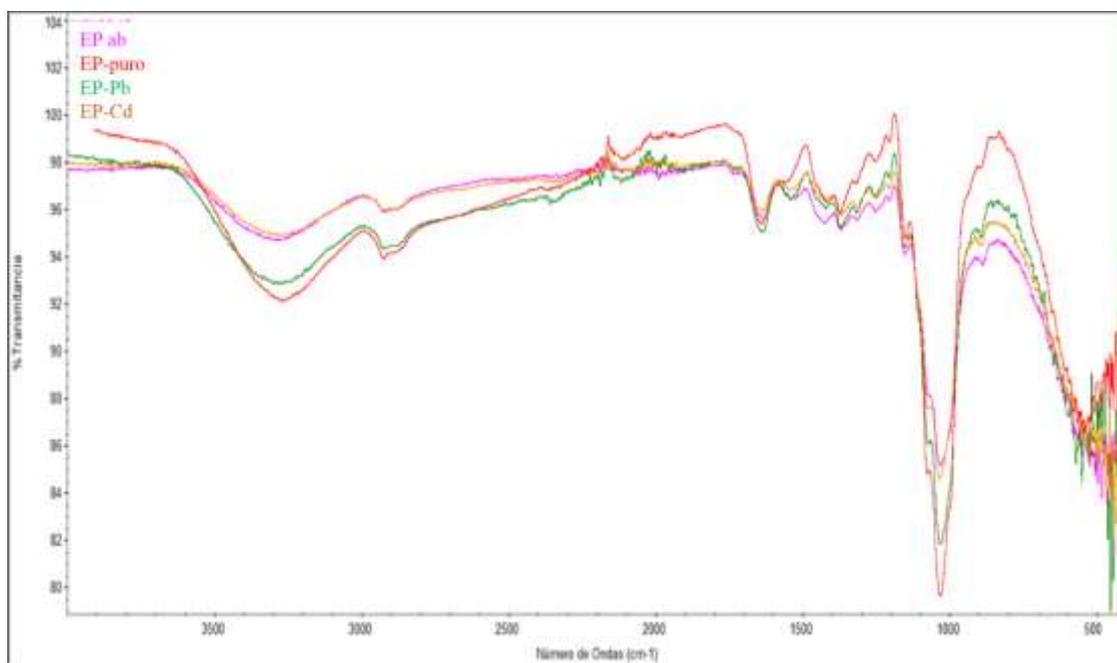
En estudios con cascara de naranja se observaron señales a 3745 cm^{-1} , que corresponden a las vibraciones de estiramiento de los grupos O-H de la celulosa, pectina y la lignina del biomaterial. Para el zuro de maíz aparece señales a 1638 cm^{-1} , correspondiente a las vibraciones de estiramiento de los grupos C=O del grupo carboxilo concluyeron que los grupos carboxílicos e hidroxilos, son principales grupos funcionales para la adsorción del (Pb^{2+}), logrando un porcentaje de 99.2 y 67.5 % para la cascara de naranja y el zuro de maíz respectivamente (Leyva y otros, 2012).

En la biomasa fúngica la pared celular, tiene grupos funcionales como carboxilato, hidroxilo, sulfato, fosfato y amino siendo responsables del secuestro de iones de metales pesados por existir interacciones que ocurren a través del intercambio de iones, complejación y adsorción física. Un 90% de la pared celular fúngica contiene la quitina y el quitosano (Tan GuangQun y otros, 2010).

Estudios realizados con *Pleurotus opuntiae* (Yadav y otros, 2023) observó estas variaciones de 3292 a 3289 , 2356 a 2352 , 1737 a 1735 , 1374 a 1364 de 1217 a 1216 y de 1024 a 1015 cm^{-1} del bioadsorbente puro y del bioadsorbente después de estar en contacto con solución acuosa de (Pb^{2+}). Esta interacción se debe a los grupos funcionales que tienen nitrógeno que actúan como ligandos. En este estudio el bioadsorbente de los estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP) muestran señales muy parecidas el bioadsorbente puro y después del tratamiento con soluciones acuosas de (Pb^{2+} y Cd^{2+}) con variaciones: De 3290 a 3268.99 cm^{-1} para (Pb^{2+}). y de 3277.07 cm^{-1} para Cd^{2+} . Las señales de 1737 a 1733.56 cm^{-1} para (Pb^{2+}) Y 1734.72 cm^{-1} para (Cd^{2+}), y en el rango de 1028.44 cm^{-1} cambio a 1026.4 cm^{-1} para (Pb^{2+}) y 1029.44 cm^{-1} para (Cd^{2+}) Con estos resultados se confirman la captura de

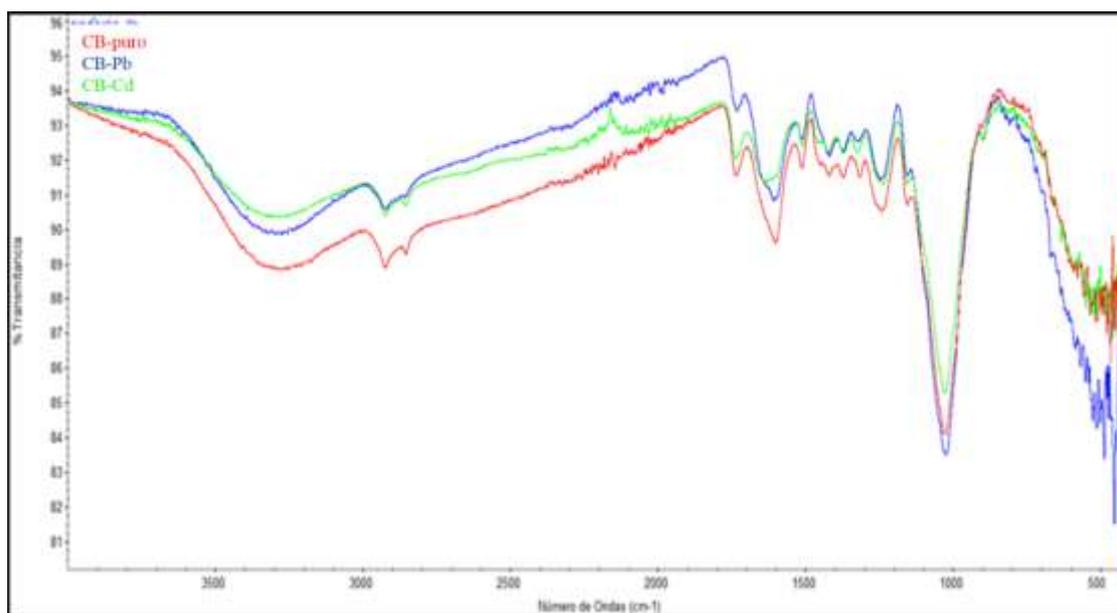
los metales estudiados por los bioadsorbentes y la presencia de grupos funcionales característicos del tipo de polisacáridos.

Figura 34 Espectros FTIR de EP (rosado), EP-Pb(verde) y EP -Cd (anaranjado)



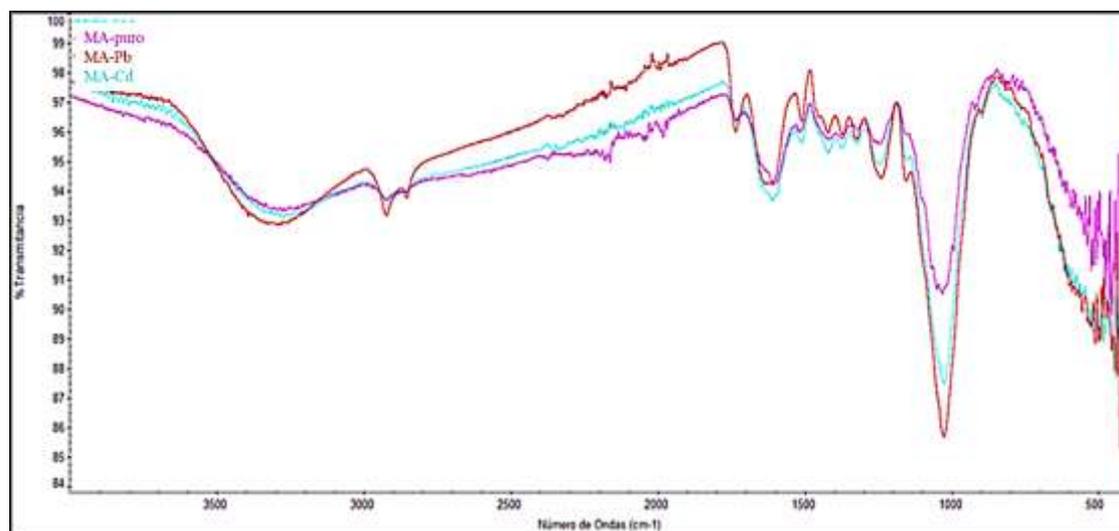
Los resultados de la figura 34 muestran espectros FT-IR del bioadsorbente EP puro y después del tratamiento con soluciones acuosas de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) muestran pequeñas variaciones en el número de onda, inferiores y superiores que se ratifican las señales mostradas en la tabla 14.

Figura 35 Espectros FTIR de CB -rojo, CB-Pb azul y CB-Cd verde



Los resultados de la figura 35 muestran espectros FT-IR del bioadsorbente CB puro y después del tratamiento con soluciones acuosas de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) muestran pequeñas variaciones en el número de onda, inferiores y superiores que se ratifican las señales mostradas en la tabla 15.

Figura 36 Espectros FTIR de MA (rosado), MA -Pb(rojo) y MA-Cd(celeste)



Los resultados de la figura 36 muestran espectros FT-IR del bioadsorbente Ma puro y después del tratamiento con soluciones acuosas de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) muestran pequeñas variaciones en el número de onda inferiores y superiores que se ratifican las señales mostradas en la tabla 16.

Según los espectros FT-IR de las figuras 34,35 y 36 muestran que en los tres bioadsorbentes se observa que las bandas de vibración para el (Cd^{2+}) son de menor intensidad frente al (Pb^{2+}) (Lezcano , 2008) en los estudios con biomasa residual de *Coffea arábica* L. tratadas con soluciones acuosas de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) encontraron estas diferencias de intensidad confirmando la menor remoción de (Cd^{2+}) frente al (Pb^{2+}) en los bioadsorbente en estudio.

Tabla 17 Bandas de absorción más importantes en los bioadsorbente EP, CB y MA después del tratamiento con soluciones acuosas de Pb (II) y Cd y grupos funcionales responsables de la unión del metal.

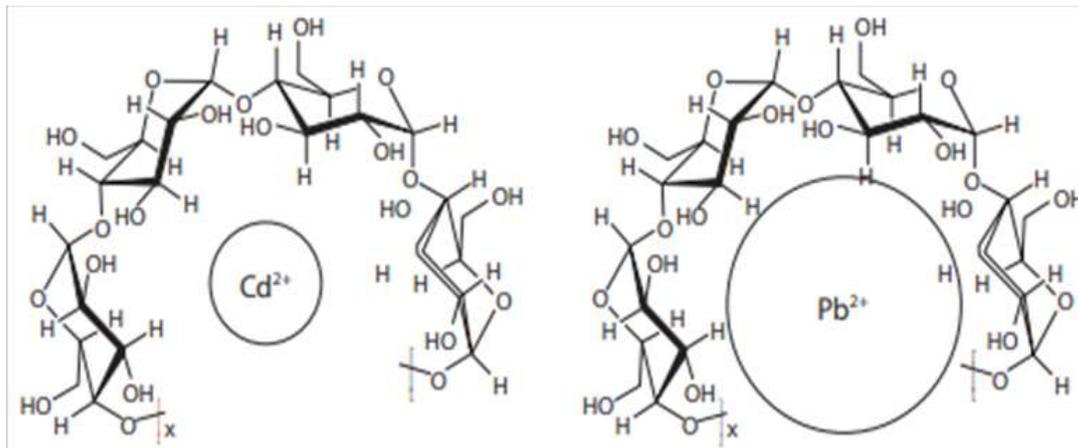
Grupo funcional	Adsorbente	Adsorbente puro	Adsorbente con Pb (II)	Adsorbente Con Cd
		(Cm ⁻¹)	(Cm ⁻¹)	(Cm ⁻¹)
O-H	EP	3290.56	3268.99	3277.07
	CB	3275.74	3294.44	3289.32
	MA	3275.74	3290.55	3269.36
C=O	EP	1734.72	1737.59	
	CB	1733.08	1731.77	1733.03
	MA	1736.44	1732.94	1716.31
amida I	EP	1634.79	1626.49	1636.32
amida II		1538.83	1539.91	1542.38
amida I	CB	1599.32	1605.72	1634.24
amida I	MA	1605.16	1621.83	1606.59
C-O	EP	1370.79	1369.21	1368.56
	CB	1366.47	1371.26	1371.47
	MA	1365.58	1370.11	1371.47
C-N	EP	1151.08	1153.46	1155.31
	CB	1159.65	1154.41	1154.76
	MA	1151.09	1153.56	1159.55
C-O-C	EP	1028.44	1027.61	1032.43
	CB	1026	1021.32	1028.97
	MA	1026.18	1024.02	1026.15
β-glucopiranososa				
Enlaces β-glicosídicos	EP	885.34	891.61	896.45
	CB	898.26	899.37	897.8
	MA	821.14		900.54

La tabla 17 muestra los grupos funcionales más importantes de los bioadsorbentes MA, CB y EP que interactúan con los (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) de las soluciones acuosas.

Los polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, lignina, quitina, quitosano por poseer fragmentos de biopolímeros con grupos OH pueden interactuar con los iones

metálicos como (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) (Valladares y otros, 2017) . La Figura 37 y la figura 38 muestran las posibles interacciones con los grupos funcionales de la pared celular de los bioadsorbentes EP, AM y CB.

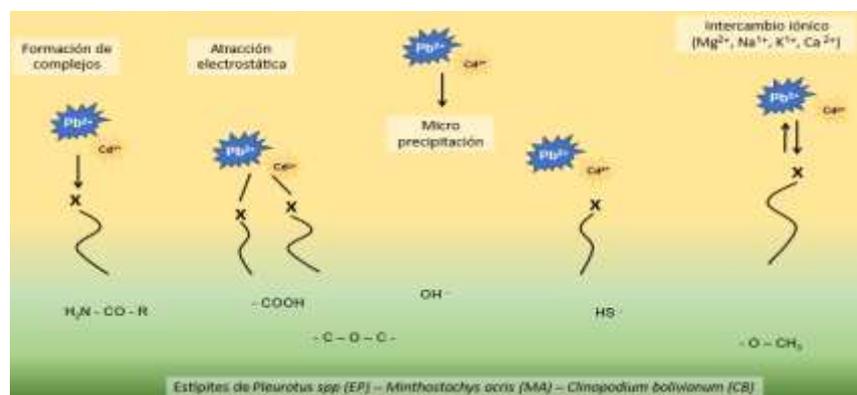
Figura 37 Posibles interacciones de fragmentos de biopolímeros con los iones de plomo y cadmio.



Fuente, (Valladares M. et al 2017)

La figura 37 muestra la interacción del ion metálico cargado positivamente cuando las soluciones acuosas están a un pH óptimo; como en este estudio el cadmio en todos los sistemas a un pH de 6, y para el sistema MA-Pb y CB-Pb a un pH de 3 y el sistema EP-Pb a un pH de 5, donde los hidrogeniones del grupo OH se desprenden formando grupos de carga negativa.

Figura 38 Posibles interacciones de los iones de Pb(II) y Cd con los bioadsorbentes EP, CB, MA



Elaboración propia

Según a figura 38 se muestran las posibles interacciones como formación de complejos según la teoría de ácidos y bases de Lewis, atracción electrostática, por la existencia de cargas parcialmente cargadas, microprecipitación, tienden a formar hidróxidos e intercambio iónico con los iones como (Ca^{2+}) , (Mg^{2+}) , (K^+) , (Na^+) y (Fe^{2+}) de los bioadsorbentes de MA, CB y EP.

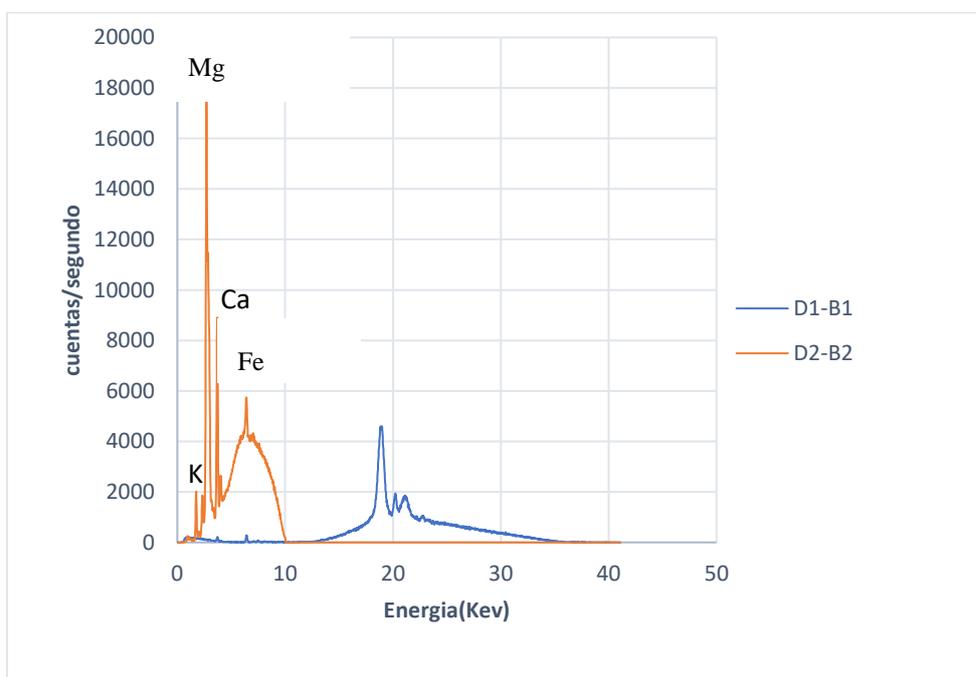
3.2.4 Espectros de los bioadsorbentes por Fluorescencia de RX

Para obtener las señales espectrales de FRX de los bioadsorbentes se trabajó del modo de operación: SOIL (tabla 18)

Tabla 18 Modo de operación SOIL

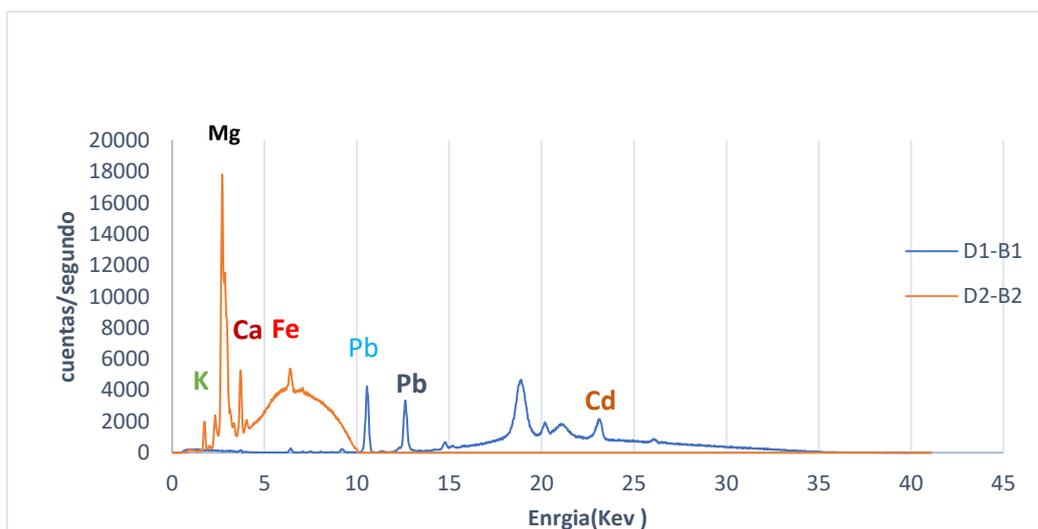
Bean	Energía (Kev)	Tiempo real (segundo)	Corriente del tubo (mA)
1	0-40	25	67,1
2	0-10	30	78,5

Figura 39 Espectro FRX de estípites de *Pleurotus spp* (EP)-puro con 2 disparos bean 1 y bean2



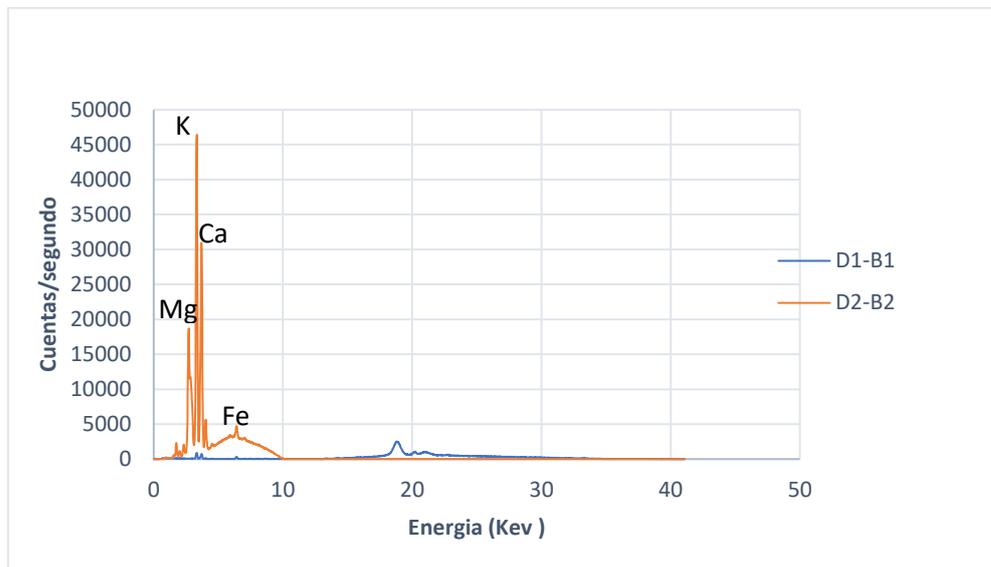
Los resultados de la Fig. 39 muestran espectros del disparo 2-bean 2 para el bioadsorbente EP puro, y se identificaron la energía de emisión del Fe con $K\alpha(6.4\text{KeV})$; del Ca con $K\alpha(3.692\text{KeV})$; del Mg con $K\alpha(3.31\text{KeV})$, del K con $K\beta(1.402\text{KeV})$. El pico más intenso corresponde a la señal del Mg con 17,218 cuentas/s

Figura 40 Espectro FRX de estípites de estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP)-Pb-Cd con 2 disparos bean 1 y bean 2



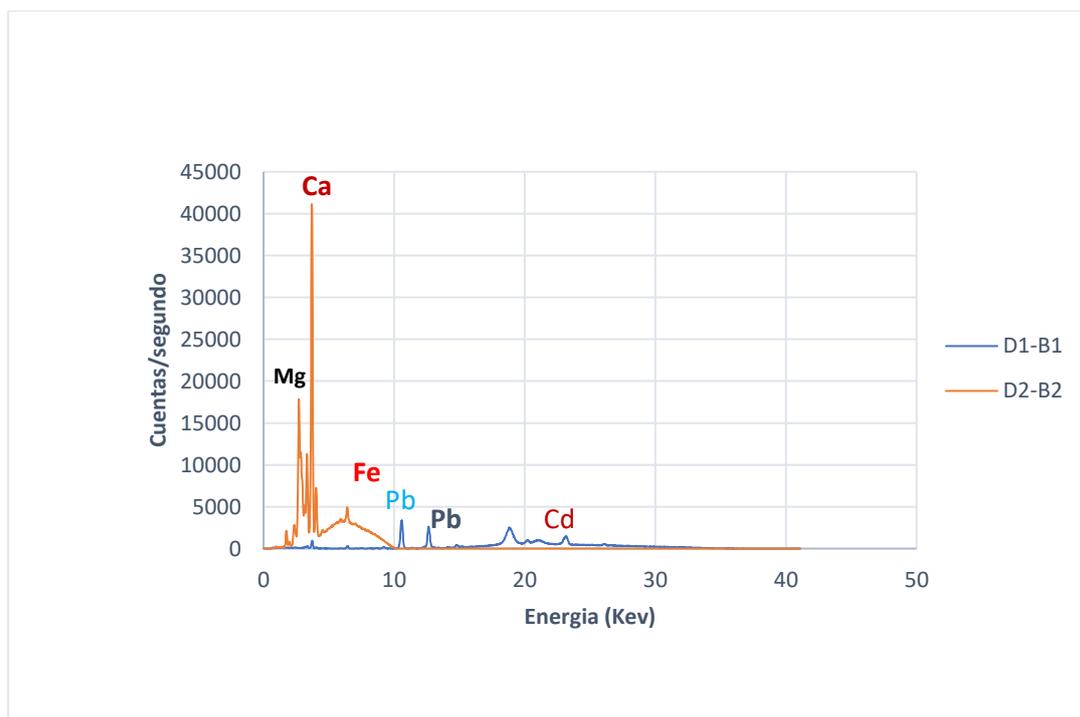
La Fig. 40 muestran espectros del disparo 1-bean 1 del bioadsorbente EP contaminado con Pb^{2+} y Cd^{2+} ; se identificaron dos señales para el Pb^{2+} la energía de emisión $L\alpha$ (10,26 Kev) y $L\beta$ (12,269Kev). La energía de emisión $K\alpha$ (23,173Kev) fue para Cd^{2+} . El pico más intenso corresponde a la señal del Mg con 16,864 cuentas/s, se ve una disminución en relación a las cuentas/s del Mg (17,218) de la Fig.39.

Figura 41 Espectro FRX de *Clinopodium bolivianum* (CB)-puro con 2 disparos bean 1 y bean 2



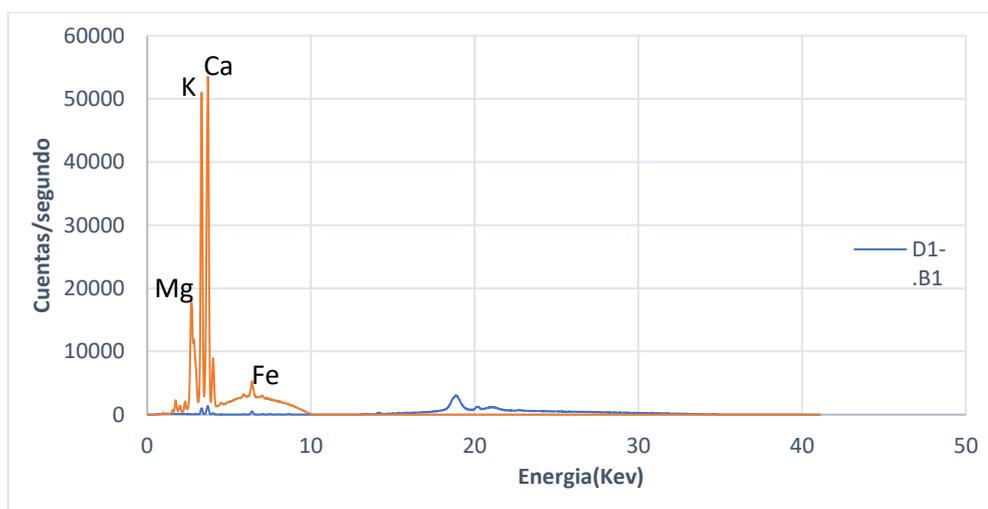
Los resultados de la Fig. 41 muestran espectros del disparo 2-bean 2 para el bioadsorbente CB puro, y se identificaron la energía de emisión del Fe con $K\beta$ (6.8Kev); del Ca con $K\beta$ (4.03 Kev); del K con $K\alpha$ (3.59 Kev). El pico más intenso corresponde a la señal del K con 45,358 cuentas/s

Figura 42 Espectro FRX de *Clinopodium bolivianum* (CB)-Pb-Cd con 2 disparos bean 1 y bean 2



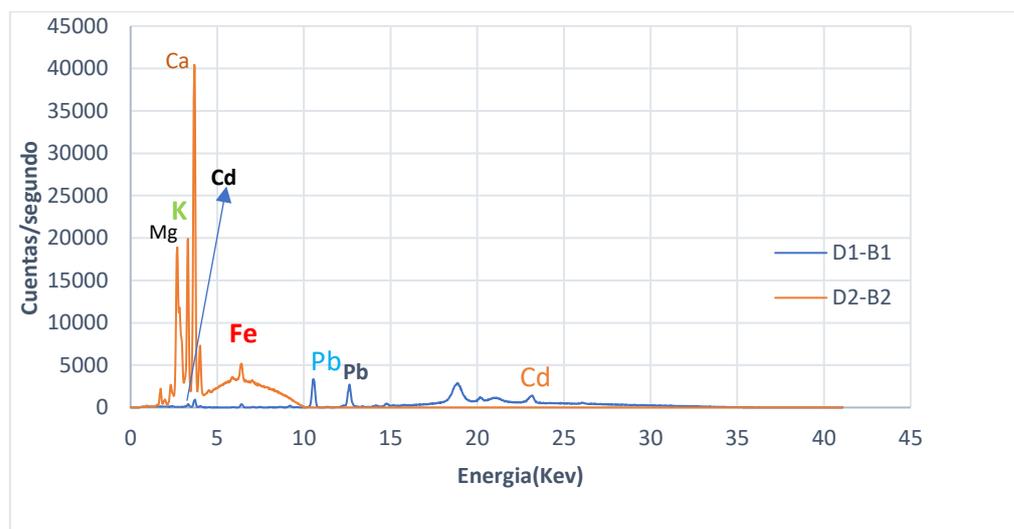
La Fig. 42 muestran espectros del disparo 1-bean 1 del bioadsorbente CB contaminado con Pb^{2+} y Cd^{2+} ; se identificaron dos señales características para el Pb^{2+} la energía de emisión $L\alpha$ (10,26 Kev) y $L\beta$ (12,269Kev). La energía de emisión $K\alpha$ (23,273Kev) fue para Cd^{2+} . El pico más intenso corresponde a la señal del Ca^{2+} con 40,685 cuentas/s, se ve una disminución en relación a las cuentas/s del Mg^{2+} de 18,727 a 16,996 cuentas /s.

Figura 43 Espectro FRX de *Mithostachys acris* (MA)-puro con 2 disparos bean 1 y bean 2



Los resultados de la Fig. 43 muestran espectros del disparo 2-bean 2 para el bioadsorbente MA puro, y se identificaron la energía de emisión del Fe^{2+} con $K\beta$ (6.9Kev); del Ca^{2+} con $K\alpha$ (3,69 Kev); del K con $K\alpha$ (3.34 Kev); Mg^{2+} con $K\beta$ (1.402Kev). Se observan dos picos intensos que corresponden a la señal del K^+ y Ca^{2+} .

Figura 44 Espectro FRX de *Mithostachys acris* (MA)-Pb-Cd con 2 disparos bean 1 y bean 2



La Fig. 44 muestran espectros del disparo 1-bean 1 del bioadsorbente MA contaminado con Pb^{2+} y Cd^{2+} ; se identificaron dos señales características para el Pb^{2+} la energía de emisión $L\alpha$ (10,26 KeV) y $L\beta$ (12,269KeV). En este bioadsorbente se encontró dos señales para Cd^{2+} , La energía de emisión $K\alpha$ (23,243KeV) y la energía de emisión $L\beta$ (3.59KeV). El pico más intenso corresponde a la señal del Ca^{2+} con 39,998 cuentas/s y esta es una disminución bastante considerable del bioadsorbente puro desde 52,422 cuentas/s. También muestra una disminución para potasio de 50,800 a 19,921 cuentas /s.

Tabla 19 Resultados de los espectros de FRX de los bioadsorbentes puros y después del tratamiento con las soluciones acuosas de Pb (II) y Cd.

Bioadsorbentes	Metales cuentas/s					
	Mg 1.28(KeV)	K 3.3(KeV)	Ca 3.6(KeV)	Fe 6.4(KeV)	Pb (II) 10.53(KeV)	Cd 23.26(KeV)
EP-puro	18,456.10	755.90	7,908.00	575.30		
EP-Pb-Cd	13,337.20	1916.80	4,392.00	528.20	1,176.60	429.20
CB-puro	22,258.30	64229.20	45,854.00	1326.00		
CB-Pb-Cd	20,316.60	19089.90	56,392.50	1272.90	1,999.90	665.80
	20,340.20	54718.40	60,464.30	1792.30		
Ma-Pb-Cd	18,454.10	24791.60	46,908.00	1418.60	1,679.00	458.00

Los resultados de la tabla 19 muestran la disminución de concentración de los iones Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} y Fe^{2+} presentes en los bioadsorbentes MA, CB y EP cuando entran en contacto con las soluciones acuosas de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) por lo que podemos asumir que existe adsorción de los metales de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}), por el mecanismo que serían el intercambio iónico.

Wang et al. (2010) utilizaron como adsorbente *Bamboo charcoal* para adsorber (Cd^{2+}) de soluciones acuosas y en los espectros de FRX del adsorbente puro no mostró señales características para (Cd^{2+}), pero si se observaron señales claras para (Cd^{2+}) entre 3.15(L α), 3.35(L β) y 23,25(K α) Kev para el adsorbente tratado con(Cd^{2+}); estos resultados fueron similares a los obtenidos por Boparai et al (2011), cuando trataron la cascara de frijol con soluciones acuosas de (Cd^{2+}). También encontraron señales características para los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio que fueron reemplazados en su totalidad por el (Cd^{2+}) concluyendo que existió un mecanismo de intercambio iónico. En este estudio se encontró señales 3.37(L β) Kev para (Cd^{2+}) con el bioadsorbente CB.

3.3 Evaluación del proceso de bioadsorción de plomo (II) y cadmio en sistema Bach

3.3.1 Efecto de la concentración del adsorbente

La concentración de biomasa en solución afecta a los procesos de adsorción de metales de soluciones acuosas (Modak & Natarajan, 1995). Para determinar la concentración óptima las pruebas se realizaron en tres tipos de bioadsorbentes obtenidos a partir de:

- *Minthostachys acris* (MA)
- *Clinopodium bolivianum* (CB)
- Estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP)

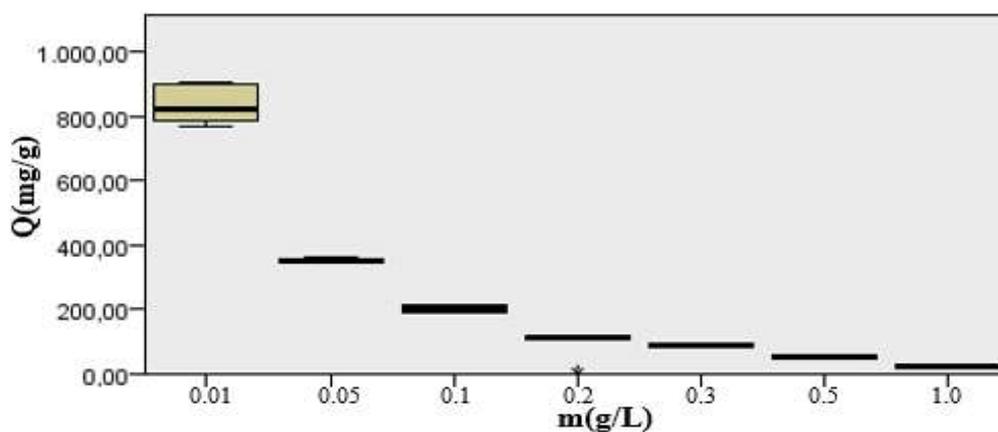
Se realizó el cálculo de la capacidad de bioadsorción de soluciones acuosas utilizando la ecuación 1 de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) en función de la concentración desde 0.01g hasta 1g para MA y CB; y de 0.03g hasta 0.14 para EP. Ver anexo tablas 1.1,1.2, y,1.3 para Cd; y 2.1,2.2 y 2.3 para Pb (II) obteniéndose las tablas y figuras correspondientes que a continuación se presentan:

3.3.1.1 Determinación de la masa óptima para cadmio (II)

Tabla 20 Capacidad de adsorción de *Minthotachys acris* (MA) para cadmio en función de la masa

	Masa (g/L)						
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0
N	6	6	6	6	6	6	6
Media	833,4667	352,4933	203,5283	97,8167	91,8650	51,0733	25,9650
Mediana	820,8000	352,4200	203,9600	114,0400	91,8650	51,0750	25,9650
SD	57,27462	5,82636	12,90216	42,43770	,85395	,61510	,71327
Mínimo	771,00	346,26	191,10	11,35	91,03	50,33	25,25
Máximo	905,70	360,54	215,78	118,73	92,75	51,75	26,76

Figura 45 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) para cadmio en función de la masa

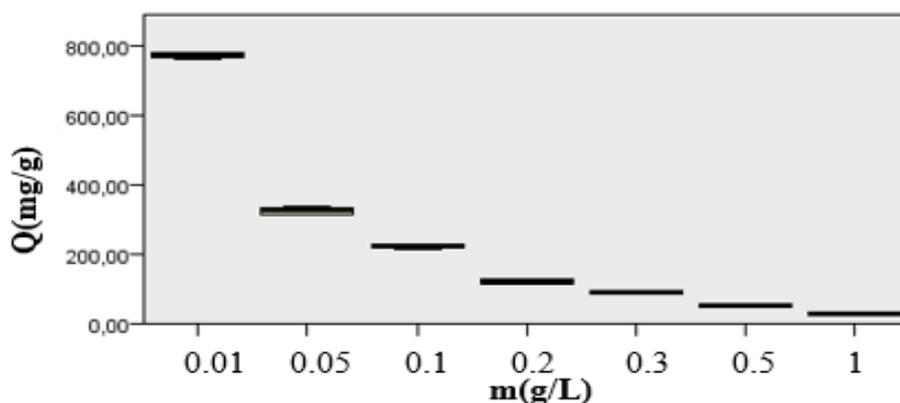


Los resultados de la tabla 20 muestra la variabilidad decreciente a medida que aumenta la concentración del bioadsorbente MA, la capacidad de adsorción(q) disminuye. La figura 45 muestran que a 0.01 y 1g de MA la q es de 833,46 y 25,96 mg/g respectivamente. Se concluye que a menor concentración del bioadsorbente MA la q es mayor para Cd^{2+} de las soluciones acuosas. Para la construcción de la tabla 20 y la figura 45 se utilizan los datos del anexo I, tabla 1.1.

Tabla 21 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) en función de la masa para cadmio

	Masa(g/L)						
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0
N	6	6	6	6	6	6	6
Media	772,583	325,963	221,505	120,486	91,865	52,673	26,305
Mediana	772,000	326,590	221,935	120,460	91,865	52,675	26,735
SD	6,420	9,544	3,5648	7,914	,8539	,28814	,8827
Mínimo	762,90	314,94	216,90	112,99	91,03	52,19	25,12
Máximo	779,80	337,82	22589	128,15	92,75	52,96	27,00

Figura 46 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) en función de la masa para cadmio

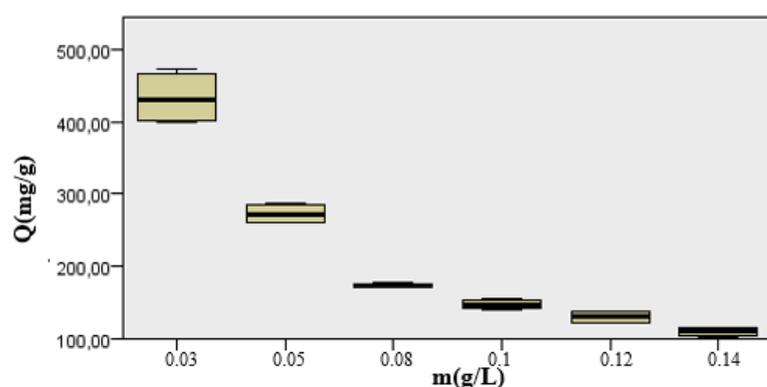


Los resultados de la tabla 21 muestra la variabilidad decreciente a medida que aumenta la concentración del bioadsorbente CB, la q disminuye. La figura 46 muestran que a 0.01 y 1g de CB la q es de 772,583 y 26,305 mg/g respectivamente. Se concluye que a menor concentración del bioadsorbente CB la q es mayor para Cd^{2+} de las soluciones acuosas. La elaboración de la tabla 21 y la figura 46 se utilizaron los datos del anexo I, tabla 1.2.

Tabla 22 Capacidad de adsorción de estípite de *Pleurotus spp* (EP) en función de la masa para cadmio

	Masa (g/L)					
	0.03	0.05	0.08	0.1	0.12	0.14
N	4	4	4	4	4	4
Media	434,175	272,875	174,275	147,025	129,375	109,300
Mediana	431,900	272,400	173,650	146,550	130,000	109,500
SD	37,703	14,186	3,222	7,068	8,238	7,124
Rango	74,50	26,70	7,40	14,00	15,50	13,20
Mínimo	399,20	260,00	171,20	140,50	121,00	102,50
Máximo	473,70	286,70	178,60	154,50	136,50	115,70

Figura 47 Capacidad de adsorción de estípite de *Pleurotus spp* (EP) para Cadmio en función de la masa



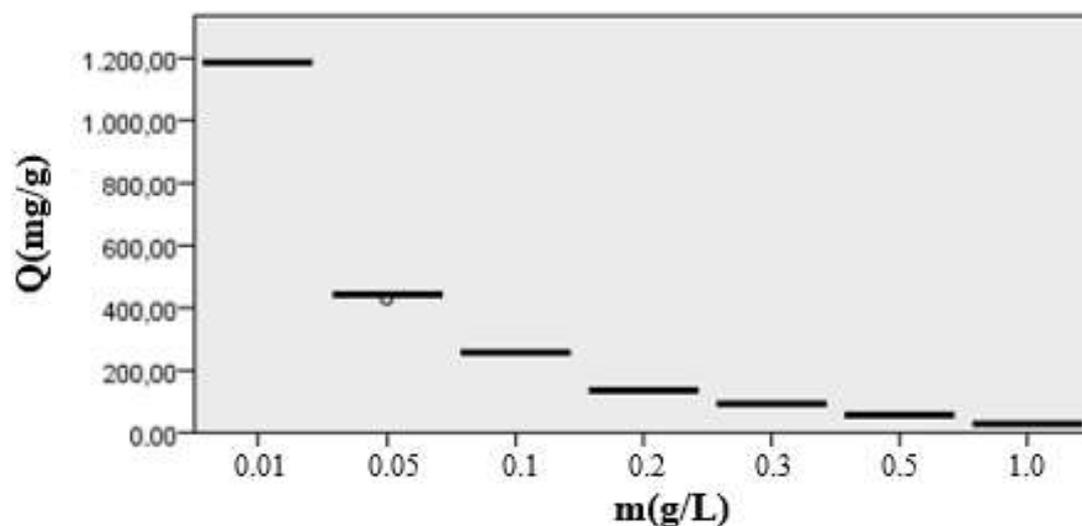
Los resultados de la tabla 22 muestra la variabilidad decreciente a medida que aumenta la concentración del bioadsorbente EP, la q disminuye. La figura 47 muestran que a 0.03 y 0,14g de EP la q es de 772,583 y 26,305 mg/g respectivamente. Se concluye que a menor concentración del bioadsorbente EP la q es mayor para Cd^{2+} de las soluciones acuosas. La elaboración de la tabla 22 y la figura 47 se utilizaron los datos del anexo I, tabla 1.3.

3.3.1.2 Determinación de la masa óptima para plomo (II)

Tabla 23 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) en función de la masa para plomo

	Masa(g/L)					
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	1.0
N	6	6	6	6	6	6
Media	1855,500	557,500	285,516	145,766	94,418	28,528
Mediana	1860,000	557,000	285,800	145,750	94,450	28,535
SD	123,274	1,714	2,396	,68020	,52316	,4413
Mínimo	1729,00	555,60	282,70	145,05	93,87	28,09
Máximo	1992,00	559,60	288,20	146,60	94,97	28,97

Figura 48 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) en función de la masa para plomo (II)

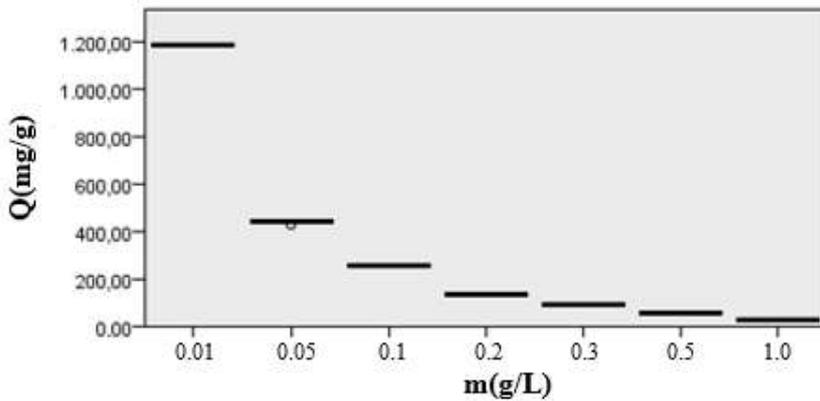


La tabla 23 muestra la variabilidad decreciente a medida que aumenta la concentración del bioadsorbente MA, la q disminuye. Los resultados de la figura 48 muestran que a 0.01 y 1g de MA la q es de 1885,5 y 28,528 mg/g respectivamente. Se concluye que a menor concentración del bioadsorbente MA la q es mayor para Pb^{2+} de las soluciones acuosas. La elaboración de la tabla 23 y la figura 48 se utilizaron los datos del anexo I, tabla 2.1.

Tabla 24 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* para plomo (II) en función de la masa

	Masa (g/L)						
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0
N	6	6	6	6	6	6	6
Media	1186,1667	446,2000	254,6333	136,7000	95,3833	57,2900	28,4033
Mediana	1186,0000	446,8000	254,5000	136,7250	95,6000	57,3000	28,4000
SD	3,54495	8,56971	1,90543	1,99173	,37639	,28921	,01506
Mínimo	1181,00	430,00	252,90	134,80	94,90	57,00	28,38
Máximo	1190,00	453,40	256,60	138,60	95,70	57,56	28,42

Figura 49 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* CB en función de la masa para plomo (II)

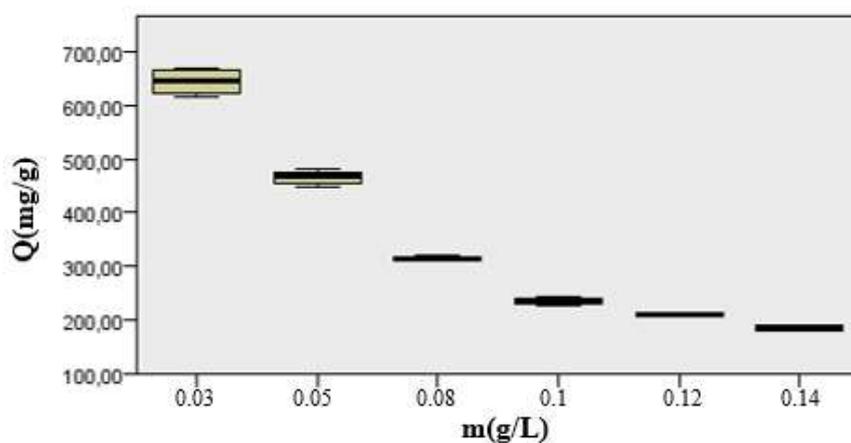


La tabla 24 muestra la variabilidad decreciente a medida que aumenta la concentración del bioadsorbente CB, la q disminuye. Los resultados de la figura 49 muestran que a 0.01 y 1g de CB la q es de 1186,16 y 28,40 mg/g respectivamente. Se concluye que a menor concentración del bioadsorbente CB la q es mayor para Pb^{2+} de las soluciones acuosas. La elaboración de la tabla 24 y la figura 49 se utilizaron los datos del anexo I, tabla 2.2.

Tabla 25 Capacidad de adsorción de estípite de *Pleurotus spp* para plomo (II) en función de la masa

	Masa(g/L)					
	0.03	0.05	0.08	0.1	0.12	0.14
N	4	4	4	4	4	4
Media	645,0825	465,8500	314,5650	234,1500	211,4800	184,8225
Mediana	647,3350	467,3000	313,2500	233,1500	211,6250	185,2500
SD	25,97165	14,17169	3,29352	6,53019	2,58989	5,46435
Rango	55,00	32,80	7,00	13,50	6,33	11,79
Mínimo	615,33	448,00	312,38	228,40	208,17	178,50
Máximo	670,33	480,80	319,38	241,90	214,50	190,29

Figura 50 Capacidad de adsorción de estípite *Pleurotus spp* en función de masa para plomo (II)



La tabla 25 muestra la variabilidad decreciente a medida que aumenta la concentración del bioadsorbente EP, la q disminuye. Los resultados de la figura 50 muestran que a 0.01 y 1g de EP la q es de 645,0825 y 184,8225 mg/g respectivamente. Se concluye que a menor concentración del bioadsorbente EP la q es mayor para Pb^{2+} de las soluciones acuosas. La elaboración de la tabla 25 y la figura 50 se utilizaron los datos del anexo I, tabla 2.3.

Tabla 26 Masa optima de cada uno de los bioadsorbentes y la eficiencia de adsorción

Parámetros constantes	Bioadsorbente	Masa optima (g/L)		q(mg/g)		A%	
		Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
t=60 minutos							
V= 50mL, T= 13°C	MA	0,1	0,3	283,00	92,53	94,00	93,00
Concentración de	CB	0,3	0,3	95,60	91,20	96,00	91,00
Pb y Cd =30ppm	EP	0,1	0,1	228,40	151,60	70,00	50,00
250rpm							
pH =4 para Pb							
pH =6 para Cd							

Para la determinación de la masa optima de los bioadsorbentes MA, CB y EP para la q de (Pb^{2+}) y (Cd^{2+}) de soluciones acuosas se consideró el valor medio de las medianas. Los resultados de la tabla 26 muestran que los bioadsorbentes MA, CB y EP tienen como masa optima de 0,1; 0,3 y 0,1 g/l respectivamente para Pb^{2+} , obteniéndose una mayor q de 283mg/g, para MA y el %A fue de 94; seguido por EP con la q de 228mg/g y 70%A. La menor q es para CB con 95,60mg/g y 96%A. En el caso del Cd^{2+} la masa optima de los bioadsorbentes fue de 0,3g/L para MA y CB; y la capacidad de adsorción fue de 92,53 y 91,20 mg/g respectivamente, con un %A de 93 y 91 para MA y CB. La masa óptima para el bioadsorbente EP fue de 0,1g/L, se obtuvo la mayor q de 151.6mg/g.

Según los resultados de las figuras 45,46,47, 48,49 y50 se observan que la capacidad de adsorción con los bioadsorbentes MA, CB y EP es mayor para el Pb^{2+} frente al Cd^{2+} .

La figura 51 muestra el % de remoción en relación a la concentración de EP para Pb^{2+} y Cd^{2+} ; se observa que el % de remoción para Pb^{2+} es mayor que Cd^{2+} . La elaboración dela figura 51 se construye con los datos del anexo I y las tablas 1.3 y 2.3.

Figura 51 Porcentaje de remoción plomo (II) y cadmio en función de la masa de los estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP)

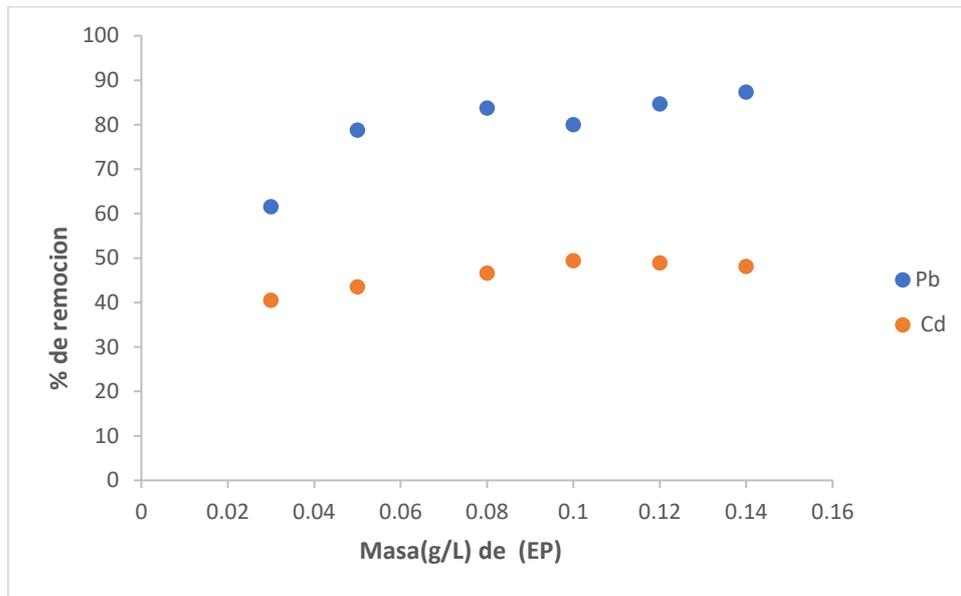
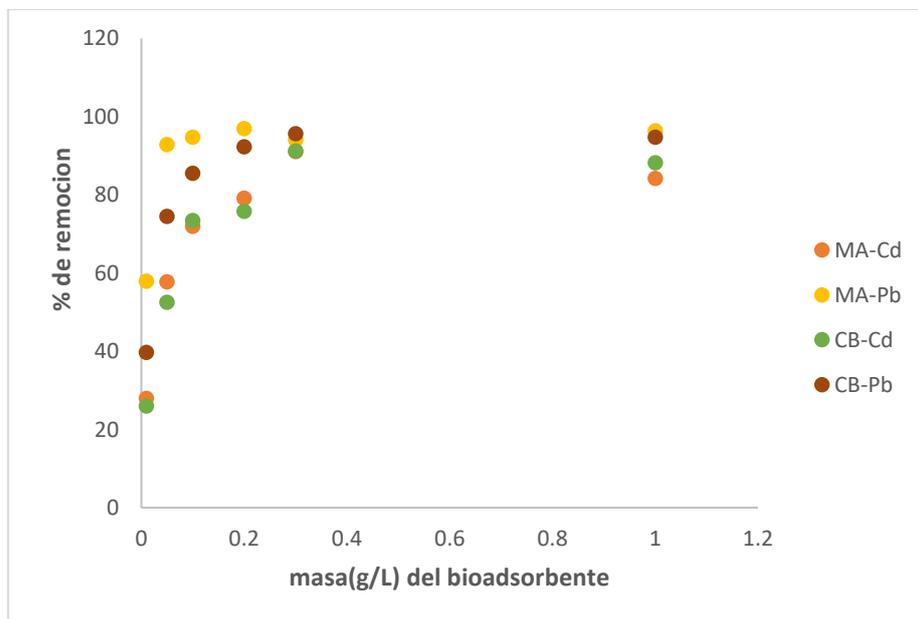


Figura 52 Porcentaje de remoción de plomo (II) y cadmio en función de la masa de *Minthostachis acris* y *Clinopodium bolivianum*



Los resultados de la figura 52 se construye con los datos del anexo I y las tablas 1.1; 1.2; 2.1 y 2.2. El % de remoción en función de la concentración de los bioadsorbentes en orden decreciente es para el sistema MA-Pb, CB-Pb, Cb-Cd y MA-Cd.

Según el procesamiento de datos y la prueba de Kruskal-Wallis los bioadsorbentes *Mintostachys acris*(MA) *Clinopodium bolivianum* (CB) y estípites de *Pleurotus spp* (EP) tienen el mismo comportamiento para el proceso de adsorción de Pb^{2+} y Cd^{2+} de soluciones acuosas; cuando se va aumentando la concentración del bioadsorbente, disminuye la capacidad de adsorción. Lo anterior indica que, a menor cantidad de biomasa mayor distancia entre partículas y, por consiguiente, mayor adsorción de cationes metálicos (Chuquilín Goicochea, 2016)

Trabajos realizados por Vizcaíno et al (2017) utilizando tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* (EC) en concentraciones de 0,1; 0,2; 0,5; 0,8; 1,4; 2,0; g/200mL) durante 24h de contacto mostraron una disminución progresiva de la capacidad de adsorción, conforme aumenta la cantidad biomasa. La mayor capacidad de adsorción para plomo fue 29,788mg/g empleando 0,1g de biomasa para tallos de EC y 26,966mg/g para hojas de EC, llegando a una eficiencia de remoción del 97%. Otros investigadores como Shuhong et al. (2014) encontraron el mismo efecto por aumento de la concentración de la dosis del bioadsorbente.

Estudios de la capacidad de adsorción en función de la concentración del adsorbente *Trichocereus cuzcoensis* con soluciones acuosas de plomo con biomasa desde 0,1; 0,5;1,0; y 1,5g/L; alcanzaron una mayor capacidad de adsorción con la concentración de 0,1g/L con una eficiencia de remoción del 91,77% (Fernandez & Maldonado, 2020).

3.3.2 Efecto del pH para cadmio y plomo (II)

El rol del pH es estudiado ampliamente para varios sistemas, conociendo de la fuerte influencia en el proceso de biosorción. En este estudio se evaluó la capacidad de adsorción de 3 bioadsorbentes en función del pH para conocer un pH óptimo de Pb^{2+} y Cd^{2+} , por ser un parámetro muy importante y decisivo sobre los procesos de interacción de los iones metálicos con los grupos funcionales de la pared celular de los bioadsorbentes.

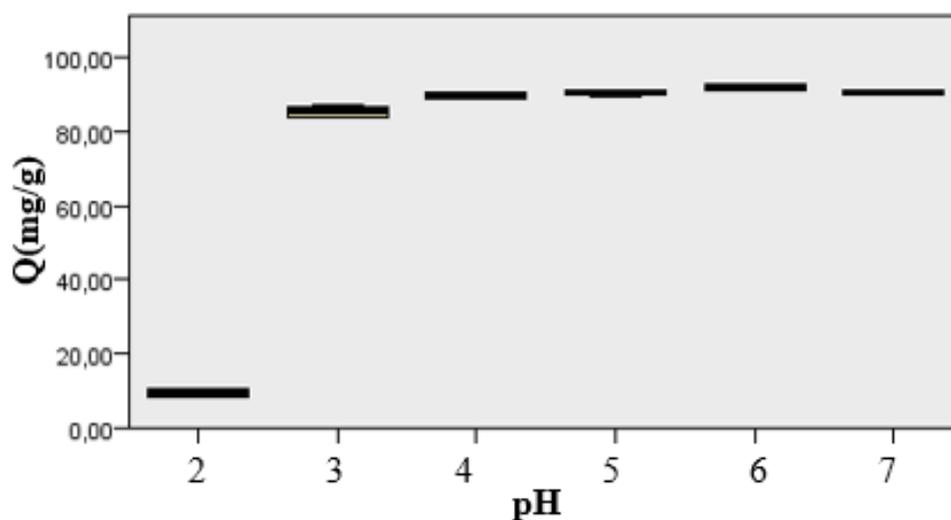
Se realizó el cálculo de la capacidad de bioadsorción *Mintostachys acris* (MA) *Clinopodium bolivianum* (CB) y estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP) para Pb^{2+} y Cd^{2+} de soluciones acuosas en función del pH, siendo el rango de pH de 2 a 7 para Cd^{2+} y de 2 a 5 para Pb^{2+} . La elaboración de la tabla 27 y figura 26 resulto del anexo I, y la tabla 3.1

3.3.2.1 Efecto del pH para cadmio

Tabla 27 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) en función del pH para cadmio

	pH					
	2	3	4	5	6	7
N	6	6	6	6	6	6
Media	9,3500	85,4917	89,9117	90,3700	91,8650	90,6283
Mediana	9,3600	85,6500	89,7600	90,3950	91,8650	90,6550
SD	1,10766	1,55177	,58684	,76150	,85395	,26992
Mínimo	8,14	83,67	89,10	89,41	91,03	90,33
Máximo	10,47	87,08	90,76	91,32	92,75	90,92

Figura 53 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) en función del pH para cadmio (II)

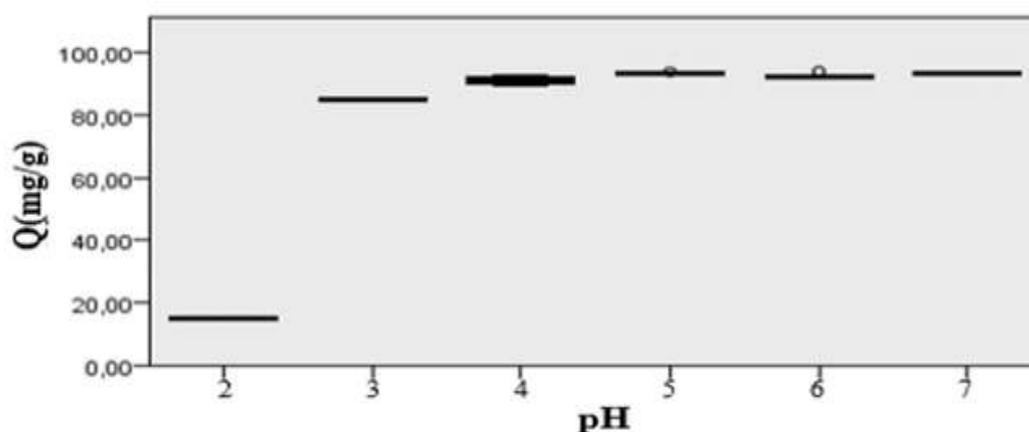


Los resultados de la tabla 27 muestra la variabilidad creciente a medida que aumenta el pH existiendo aumento brusco de la q a partir del pH 3 como se observa en la figura 53, luego sigue aumentando la q de MA, para Cd^{2+} de las soluciones acuosas. A pH de 2 la capacidad de adsorción es de 9,35 mg/g y a un pH de 6 es 91,865mg/g.

Tabla 28 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) en función del pH para cadmio.

	pH					
	2	3	4	5	6	7
N	6	6	6	6	6	6
Media	15,2167	85,2500	91,2333	93,1333	92,6000	93,6167
Mediana	15,1500	85,25	91,3000	93,1500	92,4000	93,5500
SD	,29269	,28810	1,38804	,44572	,76681	,34881
Mínimo	14,90	84,90	89,60	92,60	92,00	93,20
Máximo	15,70	85,70	92,80	93,90	94,10	94,20

Figura 54 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) en función del pH para cadmio



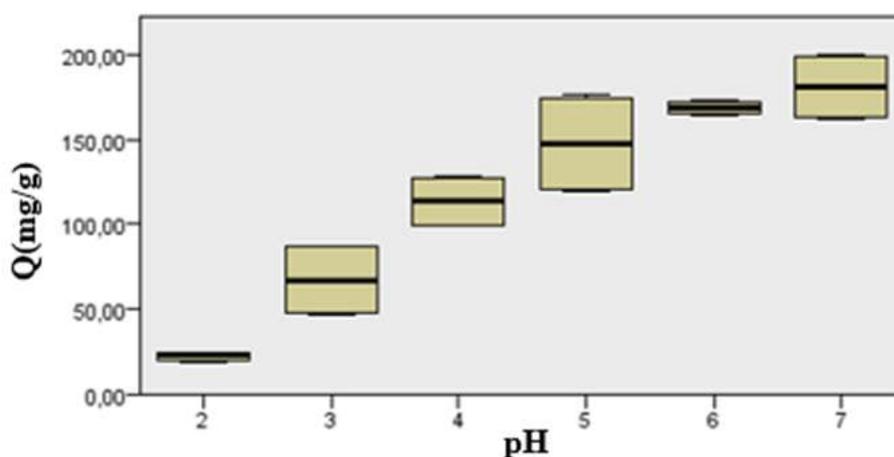
La tabla 28 muestra la variabilidad creciente a medida que aumenta el pH existiendo aumento brusco de la q a partir del pH 3 como se observa en la figura 54, luego existe un aumento moderado de la q de CB, para Cd^{2+} de las soluciones acuosas. A pH de 2 la capacidad de adsorción es de 15,2167 mg/g y a un pH de 6 es 92,60 mg/g. La elaboración de la tabla 28 y figura 54 resultado del anexo I, y la tabla 3.2

Tabla 29 Capacidad de adsorción de estípite de *Pleurotus spp* cultivado (EP) en función del pH para Cd

	pH					
--	----	--	--	--	--	--

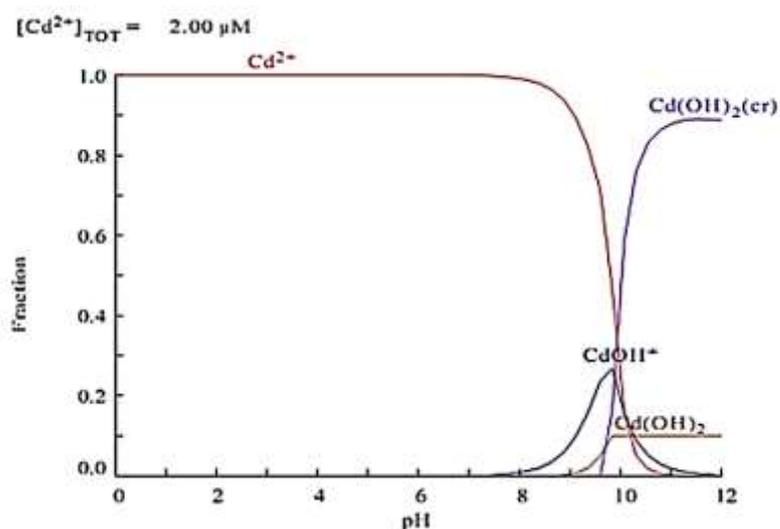
	2	3	4	5	6	7
N	4	4	4	4	4	4
Media	22,2650	67,2450	113,8750	147,9975	168,8225	181,2975
Mediana	22,8850	67,2250	113,6750	147,8100	168,5550	181,5050
SD	3,03524	22,93908	16,18680	31,02792	3,90734	20,44977
Rango	6,27	40,09	28,89	56,33	8,32	37,46
Mínimo	18,51	47,22	99,63	120,02	164,93	162,36
Máximo	24,78	87,31	128,52	176,35	173,25	199,82

Figura 55 Capacidad de adsorción de estípite *Pleurotus spp* cultivado (EP) en función del pH para cadmio



Los resultados de la tabla 29 muestra la variabilidad creciente a medida que aumenta el pH existiendo aumento brusco de la q a partir del pH 3 como se observa en la figura 55, y existe un aumento muy diferenciado de la q de EP, para Cd^{2+} de las soluciones acuosas. A pH de 2 la capacidad de adsorción es de 15,2167 mg/g y a un pH de 6 es 92,60 mg/g. La elaboración de la tabla 28 y figura 55 resultado del anexo I, y la tabla 3.2

Figura 56 Diagrama de distribución de especies del cadmio en medio acuoso a 25°C



Fuente, Hidalgo Soraya, 2004

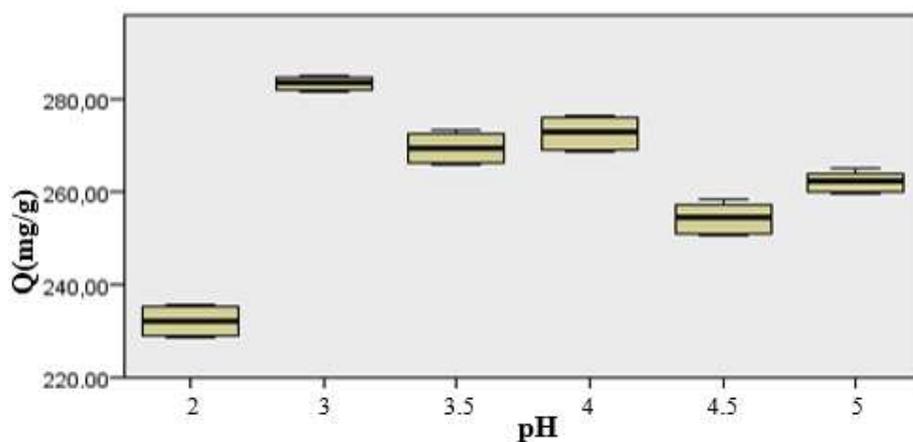
Según la figura 56, el Cd^{2+} de soluciones acuosas, en este estudio para determinar la *q* de adsorción de MA, CB y EP se encuentran en rango de pH 2 a 6. A pH mayores de 7 tiende a formar hidróxidos.

3.3.2.2 Efecto del pH para plomo

Tabla 30 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) en función del pH para plomo (II)

	pH					
	2	3	3.5	4	4.5	5.0
N	6	6	6	6	6	6
Media	232,0500	283,2500	269,4833	272,5167	254,1833	262,1000
Mediana	232,1000	283,3500	269,5000	272,7000	254,3000	262,2500
SD	3,59819	1,57067	3,48736	3,84365	3,45393	2,33238
Mínimo	228,60	281,60	265,90	268,60	250,60	259,50
Máximo	235,40	284,90	273,30	276,50	258,20	264,80

Figura 57 Capacidad de adsorción de *Minthostachys acris* (MA) en función del pH para plomo (II)

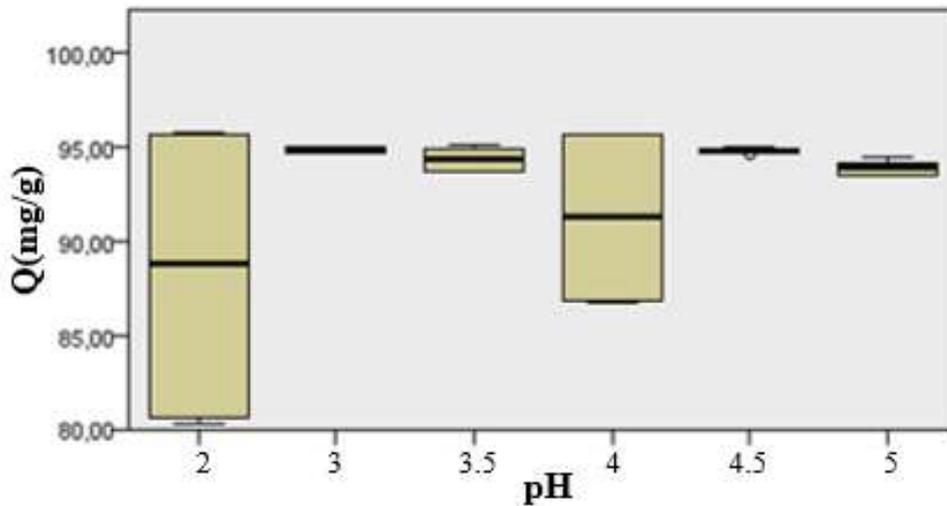


Los resultados de la tabla 30 muestra la variabilidad de la q de MA, según los valores de la mediana y la media desde el pH 2 existiendo aumento brusco a partir del pH 3 con un valor máximo de 283,25 mg/g para Pb^{2+} de las soluciones acuosas. A pH 3.5 según la figura 57 presenta un descenso con un ligero aumento en el pH 4 y luego sigue descendiendo la q y llega a un valor de 262,2 a pH de 5. La elaboración de la tabla 30 y figura 57 resultado del anexo I, y la tabla 4.1.

Tabla 31 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) para plomo (II) en función del pH

	pH					
	2	3	3.5	4	4.5	5
N	6	6	6	6	6	6
Media	88,3000	94,8000	94,3333	91,2000	94,8167	93,8333
Mediana	88,8000	94,8500	94,3000	91,2500	94,8000	93,8500
SD	8,05382	,12649	,69761	4,82037	,13292	,42269
Mínimo	80,30	94,60	93,70	86,70	94,60	93,40
Máximo	95,70	94,90	95,10	95,60	95,00	94,40

Figura 58 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) para $Pb(II)$ en función del pH

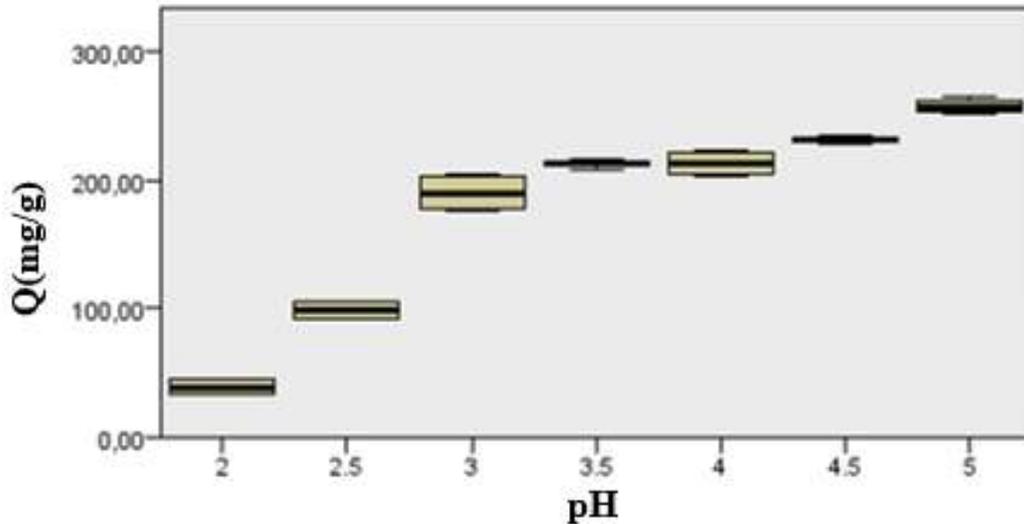


Los resultados de la tabla 31 muestra la variabilidad de q de CB, según los valores de la mediana y la media desde el pH 2 existiendo aumento brusco a partir del pH 3 con un valor máximo de 94,80 mg/g para Pb^{2+} de las soluciones acuosas. A pH 4 según la figura 58 presenta un descenso de la q con un valor de 91,20 mg/g; luego presenta un aumento ligero para el pH 4.5 y 5 teniendo un valor de 93,80. La elaboración de la tabla 31 y figura 58 resultado del anexo I, y la tabla 4.2.

Tabla 32 Capacidad de adsorción de estípite de *Pleurotus spp* cultivado (PE) en función del pH para $Pb(II)$

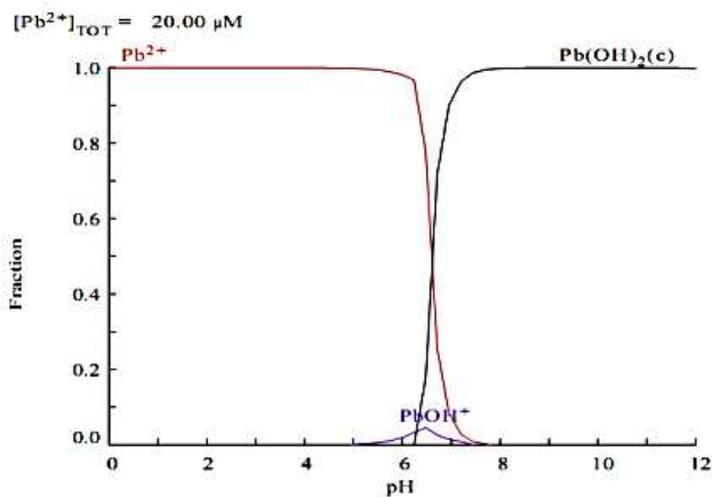
	pH						
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
N	4	4	4	4	4	4	4
Media	39,1500	98,7250	189,8500	212,8250	212,6000	231,6500	257,8250
Mediana	38,8500	98,5000	189,8500	212,8500	212,3000	231,8500	257,3500
SD	6,61135	7,51060	14,68389	3,27859	10,28850	2,44472	5,48657
Rango	12,30	14,10	27,90	8,00	21,20	5,50	12,00
Mínimo	33,30	91,90	175,90	208,80	202,30	228,70	252,30
Máximo	45,60	106,00	203,80	216,80	223,50	234,20	264,30

Figura 59 Capacidad de adsorción de estípite de *Pleurotus spp* cultivado (EP) en función del pH para Pb (II)



Los resultados de la tabla 32 muestra la variabilidad creciente de q de EP, según los valores de la mediana y la media desde el pH 2 con un valor de 39,15mg/g y llegando a un valor máximo de 257,82 a pH 5 para Pb^{2+} de las soluciones acuosas. La figura 59 muestra el aumento de la q en relación al pH. La elaboración de la tabla 32 y figura 59 resultado del anexo I, y la tabla 4.3.

Figura 60 Diagrama de distribución de especies del plomo



Fuente, Hidalgo Soraya, 2004

Según la figura 60, el Pb^{2+} de soluciones acuosas, en este estudio para determinar la q de adsorción de MA, CB y EP se encuentran en rango de pH 2 a 5. A pH mayores de 5 tiende a formar hidróxidos.

Un parámetro muy decisivo para la capacidad de adsorción de un bioadsorbente es el pH, que afecta a la carga superficial del biosorbente, el grado de ionización, y la especiación del adsorbato. El aumento de sitios activos y disponibles se presentan por el desplazamiento de protones de los grupos funcionales formando sitios cargados negativamente que pueden interactuar con los iones del metal que tienen carga positiva, y está en función del pH de la solución acuosa. (Tur y otros, 2013)

Los diagramas de distribución de Cadmio, Figura 29 y de plomo (II) Figura 33, nos permitió conocer la especie predominante en el pH correspondiente. De acuerdo a las figuras 26, 27 y 28 para Cadmio; las figuras 30,31 y 32 para plomo. Las soluciones acuosas de cadmio y plomo (II) a un pH 2 presentan la menor capacidad de adsorción por MA, CB y EP. En el pH de 1-2 la concentración de los hidrogeniones es muy alta y como los iones metálicos están en forma de ácido de Lewis, forma catiónica existe repulsión inversa a la fuerza de atracción. Algunos autores citados sugieren que a bajos valores de pH es donde existe una alta concentración de protones, los cationes metálicos y los protones compiten por los sitios de unión de la pared celular, debido a fuerzas de repulsión, por lo que la captura del metal disminuye. Ocurre lo contrario según el pH se incrementa, los sitios de unión con carga negativa se activan provocando la atracción por los iones cargados positivamente. (Chuquilín & Rosales, 2016). Según las figuras, 26,27,28,30,31 y 32 se observó; para los dos iones metálicos en estudio que a partir del pH 3 se incrementa la capacidad de adsorción llegando a un pH de 6 y 6.5 como óptimos para cadmio con los bioadsorbentes MA, EP y CB respectivamente. Para el plomo (II) llega a un pH 5 como óptimo para EP y un pH de 3 para MA y CB, mostrando también un mayor porcentaje de remoción y máxima capacidad de adsorción, como se detallan en la Fig. 61 y tabla 33.

Figura 61 Porcentaje de remoción de Pb (II) y Cd en función del pH de *Minthostachis acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* (CB) y estípites de *pleurotus spp* cultivado (EP).

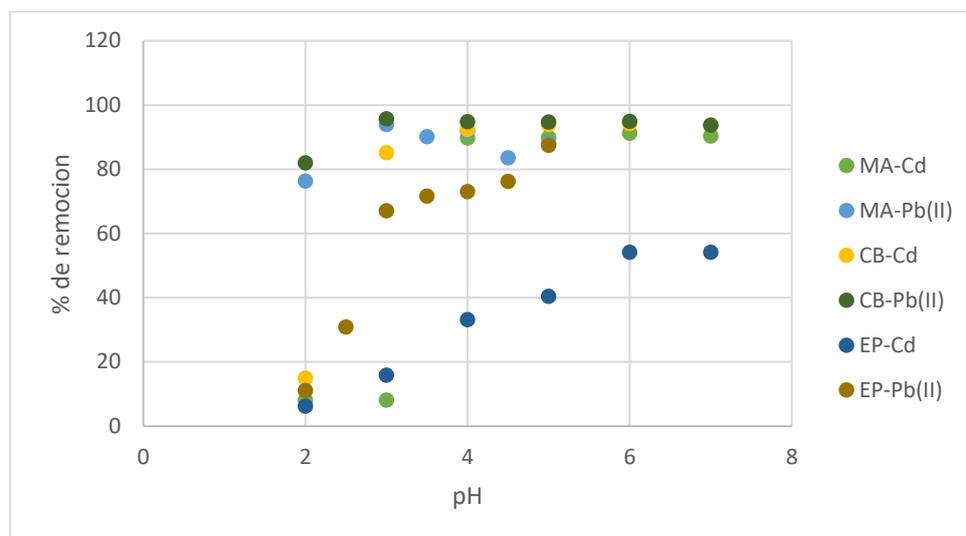


Tabla 33 *pH óptimo para plomo (II) y Cd*

Parámetros constantes	Bioadsorbente	pH		q(mg/g)		A%	
		Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
t=60 minutos	MA	3	6	284.60	92.53	93.90	91.03
V= 50mL, T= 13°C	CB	3	6.5	95.63	93.22	95.67	93.60
Concentración de Pb y Cd =30ppm 250rpm	EP	5	6	260.30	170.89	86.77	54.97

En el trabajo adsorción de cadmio y plomo en agua artificial utilizando moringa(*oliferalam*) realizado por (Sebastián, 2017) encontró pH óptimo de 6 para cadmio. Los estudios realizados por Vera et al. (2016), utilizando bagazo de caña el pH optimo fue de 6 y de 5 para Cd y Pb (II) respectivamente. Chuquilín et al (2016) observaron que, a pH 5 es directamente proporcional a la capacidad de adsorción específica de Pb (II), llegando al máximo de la q de 37,43 mg/g de Nostoc, equivalente a una remoción del 97,32% del Pb (II). De acuerdo con Gutiérrez (2015), se reporta retención de plomo de 99.97% a un pH de 3 con la biomasa de *Serratia marcescens* a

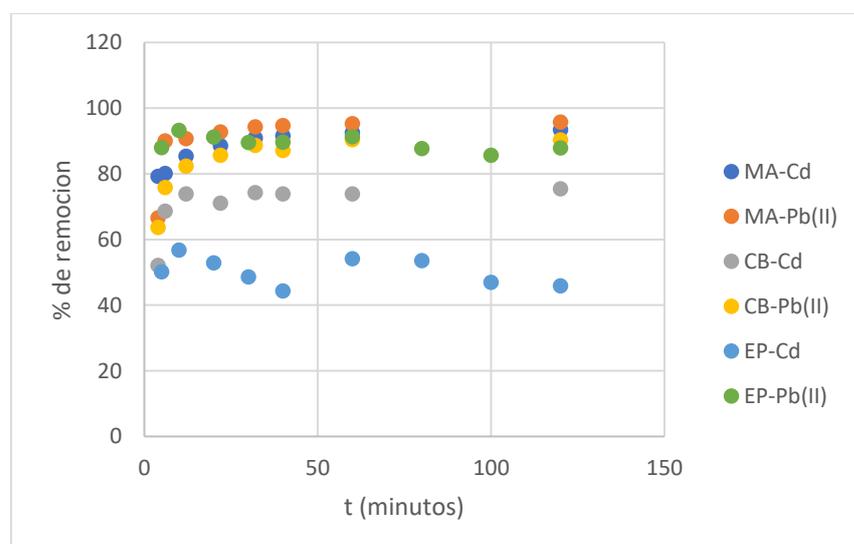
nivel de laboratorio. De acuerdo con Navarro et al. (2006), se encontró la capacidad de adsorción de 125.30mg/g a pH 6 para cadmio en los cuerpos fructíferos del macrohongo *Lentinus edodes*. Según Barka et al. (2013), en sus estudios concluyen que para remover iones plomo y cadmio de soluciones acuosas con biomasa seca de cactus (*Opuntia ficus indica*) los pH óptimos fueron de 3.5 para plomo y de 5.8 para cadmio. Los resultados encontrados por estos autores tienen similitud con lo reportado en la presente investigación.

3.3.3 Evaluación del estudio cinético

El conocimiento de la cinética de adsorción permite comprender la dinámica que presentan los iones metálicos en la superficie del adsorbente (Ali Aghababai & Akbar, 2020), y luego poder identificar los mecanismos que controlan el proceso, así seleccionar los parámetros de operación para el diseño de sistemas de tratamiento para efluentes industriales.

De los resultados obtenidos, masas óptimas de *Minthostachys acris*, *Clinopodium bolivianum* y de los estípites de *Pleurotus spp*, los pH óptimos y la concentración para cada metal en las soluciones acuosas; como también los tiempos óptimos de contacto de cada metal con cada uno de los bioadsorbentes y los datos experimentales del anexo I y las tablas 3.1,3.2 y 3.3 para cadmio y 4.1,4.2 y 4.3 para plomo (II) se determinó la cinética de adsorción para cada uno de los bioadsorbentes.

Figura 62 Tiempo óptimo y % de remoción de cada uno de los bioadsorbentes para Pb (II) y Cd de soluciones acuosas



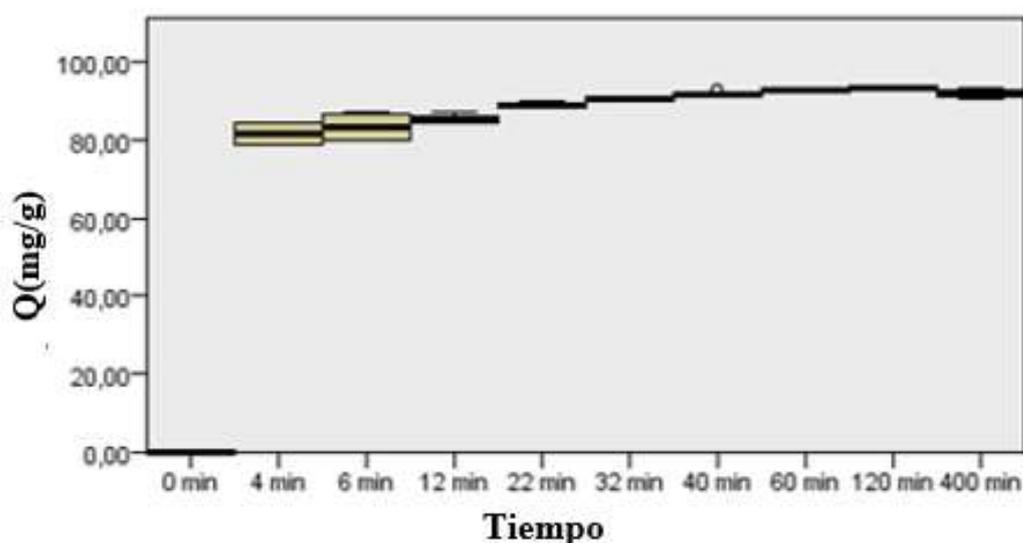
Los resultados de la figura 62 muestra que los sistemas EP-Pb(II),MA-Pb(II) y CB-Pb(II) son los que tienen mayor % de remoción en los primeros 20 minutos, el sistema MA-Cd es el que tiene mayor % de remoción frente al sistema CB-Cd y el sistema EP-Cd tiene el menor % de remoción llegando únicamente a un 50% alcanzado en los primeros 15 minutos. Todos los sistemas llegan a un equilibrio a los 60 minutos.

3.3.3.1 Estudio cinético para cadmio

Tabla 34 Capacidad de adsorción de *Mintostachys acris* (MA) en función del tiempo para cadmio

	Tiempo									
	0 min	4 min	6 min	12 min	22 min	32 min	40 min	60 min	120 min	400 min
N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Media	0,0	81,60	83,31	85,63	89,03	90,73	91,83	92,68	93,56	92,06
Mediana	0,0	81,70	83,20	85,25	88,75	90,80	91,65	92,70	93,40	92,15
SD	0,0	2,964	3,714	1,005	,736	,3077	,5820	,2137	,5241	1,227
Rango	0,0	5,8	7,2	2,7	1,9	,8	1,7	,5	1,3	2,7
Mínimo	0,0	78,7	79,8	84,7	88,4	90,2	91,2	92,4	92,9	90,7
Máximo	0,0	84,5	87,0	87,4	90,3	91,0	92,9	92,9	94,2	93,4

Figura 63 Capacidad de adsorción de *Mintostachys acris* (MA) en función del tiempo para cadmio

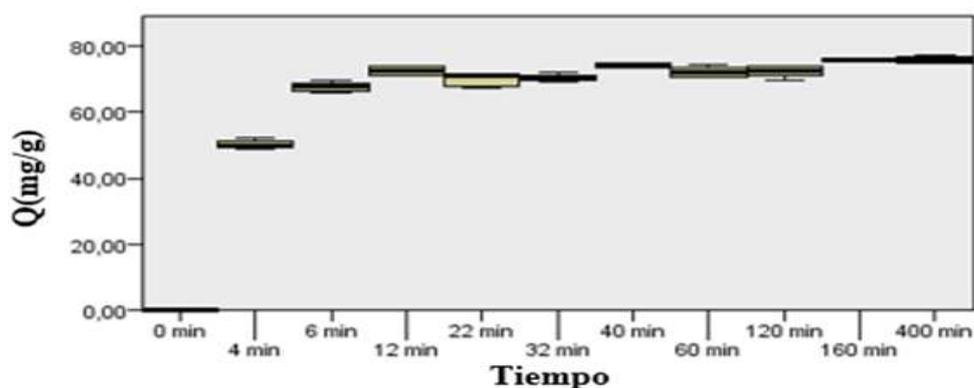


Los resultados de la tabla 34 muestra una variabilidad creciente moderada de los valores de la mediana, para MA en función del tiempo, considerando que en el rango de 0-5 minutos tiene un valor 81,70mg/g, en el rango de 6 a 40 minutos llega a un valor de 91,65 mg/g, a los 60 minutos llega a un valor de 92,68mg/g y se mantiene constante, considerando como tiempo que llego al equilibrio. La figura 63 muestra como tiempo óptimo 60 minutos para la adsorción del Cd^{2+} de las soluciones acuosas para MA. La elaboración de la tabla 34 y la figura 63 se realizó con los datos experimentales del anexo I y la tabla 5.1.

Tabla 35 Capacidad de adsorción de *Clinopodium boliviaum* (CB) en función del tiempo para cadmio

	Tiempo										
	0 min	4 min	6 min	12 min	22 min	32 min	40 min	60 min	120 min	160 min	400 min
N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Media	0,0	50,08	67,66	72,45	70,06	70,48	74,21	72,25	72,30	75,95	75,93
Mediana	0,0	49,60	67,55	72,45	71,05	70,35	74,10	72,20	72,60	76,05	75,85
SD	0,0	1,230	1,560	1,554	1,853	1,108	,5845	1,491	1,750	,4135	1,078
Rango	0,0	3,2	3,7	3,0	4,2	2,9	1,4	3,4	4,0	1,0	2,6
Mínimo	0,0	48,9	66,1	70,9	67,5	69,3	73,6	70,8	69,9	75,4	74,7
Maximo	0,0	52,1	69,8	73,9	71,7	72,2	75,0	74,2	73,9	76,4	77,3

Figura 64 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) en función del tiempo para cadmio

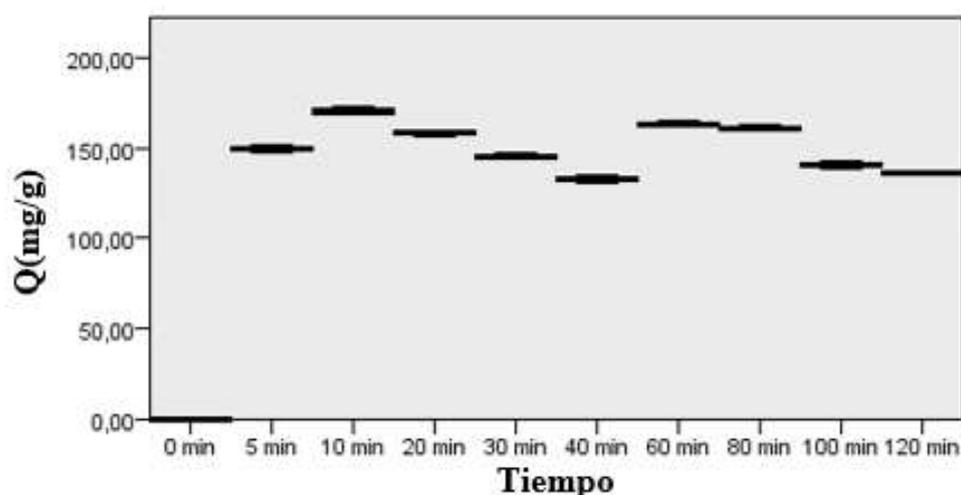


La tabla 35 muestra una variabilidad creciente moderada de los valores de la mediana, para CB, considerando que en el rango de 0-5 minutos tiene un valor 49,60mg/g, en el rango de 6 a 22 minutos llega a un valor de 70,06 mg/g, a los 60 minutos llega a un valor de 72,25 mg/g y se mantiene constante indicando que llego al equilibrio. La figura 64 muestra como tiempo óptimo 60 minutos para la adsorción del Cd^{2+} de las soluciones acuosas para CB. La elaboración de la tabla 35 y la figura 64 se realizó con los datos experimentales del anexo I y la tabla 5.2.

Tabla 36 Capacidad de adsorción de estípites de *Pleurotus spp* (EP) en función del tiempo para cadmio

	Tiempo									
	0 min	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120 min
N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Media	0,0	150,39	170,78	158,34	145,74	132,95	163,37	161,32	140,84	136,20
Mediana	0,0	150,39	170,50	158,46	145,78	133,02	163,05	161,04	140,82	136,20
SD	0,0	1,82488	1,77405	1,16334	1,32457	1,46848	1,40099	1,47737	1,42561	,97980
Rango	0,0	4,47	3,92	2,79	3,21	3,59	3,04	3,33	3,49	2,40
Máximo	0.0	152,62	173,02	159,62	147,31	134,72	165,22	163,28	142,61	137,40

Figura 65 Capacidad de adsorción estípites de *Pleurotus spp* (EP) en función del tiempo para cadmio



La tabla 36 muestra una variabilidad creciente moderada de los valores de la mediana, para EP, considerando que en el rango de 0-5 minutos tiene un valor 150,39 mg/g, a los

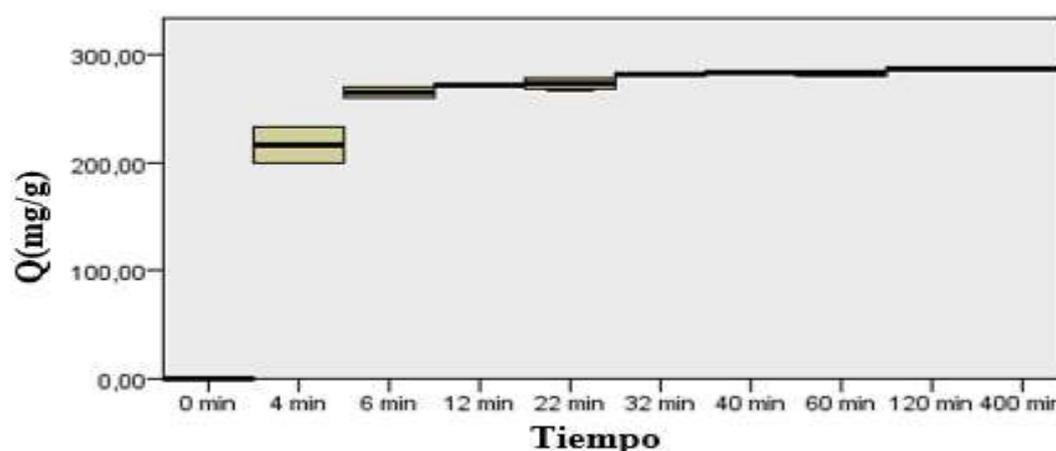
10 minutos llega a un valor de 170,78 mg/g, en el rango de 20 a 40 minutos existe una disminución, llegando a un valor de 132,95 mg/g. A los 60 minutos llega a un valor de 163,37mg/g; manteniéndose constante indicando que llegó al equilibrio. La figura 38 muestra como tiempo óptimo el rango de 60 a 70 minutos para la adsorción del Cd^{2+} de las soluciones acuosas para EP. La elaboración de la tabla 35 y la figura 65 se realizó con los datos experimentales del anexo I y la tabla 5.3.

3.3.3.2 Estudio cinético para plomo

Tabla 37 Capacidad de adsorción de *Mintothachys acris* en función del tiempo para Pb (II)

	Tiempo (minutos)									
	0 min	4 min	6 min	12 min	22 min	32 min	40 min	60 min	120 min	400 min
N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Media	0,0	216,45	265,31	271,40	272,91	281,98	283,38	282,85	287,53	286,46
Mediana	0,0	216,50	265,30	271,40	272,95	281,80	283,40	282,90	287,65	286,50
SD	0,0	18,130	5,277	0,8198	5,679	0,567	0,754	3,087	0,361	1,207
Rango	0,0	33,3	9,9	1,8	10,6	1,5	1,6	5,8	0,9	2,3
Mínimo	0,0	199,8	260,4	270,6	267,6	281,5	282,6	279,9	287,1	285,3
Máximo	0,0	233,1	270,3	272,4	278,2	283,0	284,2	285,7	288,0	287,6

Figura 66 Capacidad de adsorción de *Mintostachys acris* (MA) para plomo (II) en función del tiempo



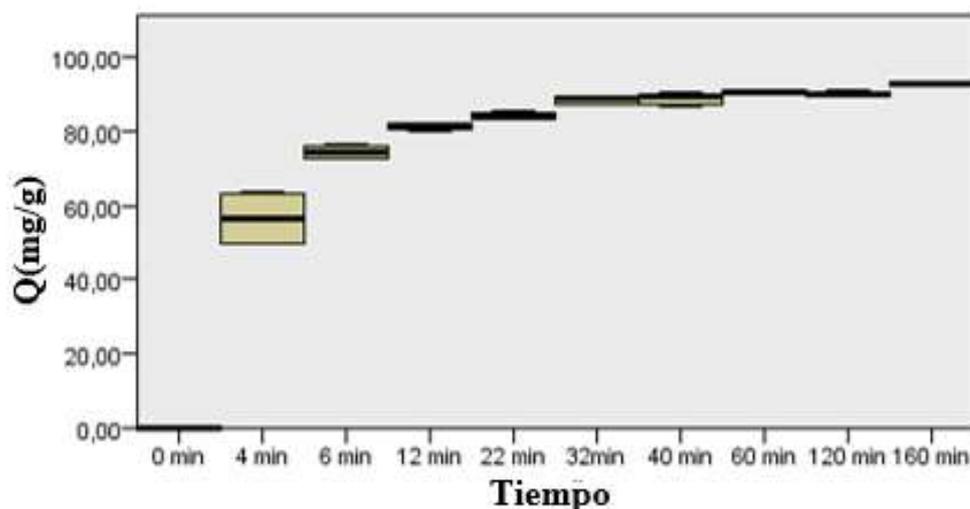
La tabla 37 muestra una variabilidad creciente moderada de los valores de la mediana, para MA, considerando que en el rango de 0-5 minutos tiene un valor 216,50 mg/g, en el rango de 6 a 32 minutos llega a un valor de 281,98 mg/g, llegando al equilibrio en el

rango de 40 a 120 minutos. La figura 66 muestra como tiempo óptimo el rango de 60 a 120 minutos para la adsorción del Pb^{2+} de las soluciones acuosas para MA. La elaboración de la tabla 37 y la figura 66 se realizó con los datos experimentales del anexo I y la tabla 6.1.

Tabla 38 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) para plomo (II) en función del tiempo

	Tiempo									
	0 min	4 min	6 min	12 min	22 min	32 min	40 min	60 min	120 min	160 min
N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Media	0,0	56,65	74,38	81,21	84,36	88,40	88,91	90,45	90,08	92,95
Mediana	0,0	56,70	74,25	81,30	84,40	88,70	89,25	90,40	90,10	92,95
SD	0,0	7,326	1,834	0,941	0,975	0,846	1,725	0,273	0,577	0,242
Rango	0,0	14,0	3,9	1,9	2,4	2,0	3,8	,8	1,6	,5
Mínimo	0,0	49,7	72,7	80,2	83,3	87,3	86,9	90,1	89,4	92,7
Máximo	0,0	63,7	76,6	82,1	85,7	89,3	90,7	90,9	91,0	93,2

Figura 67 Capacidad de adsorción de *Clinopodium Bolivianum* (CB) para plomo (II) en función del tiempo



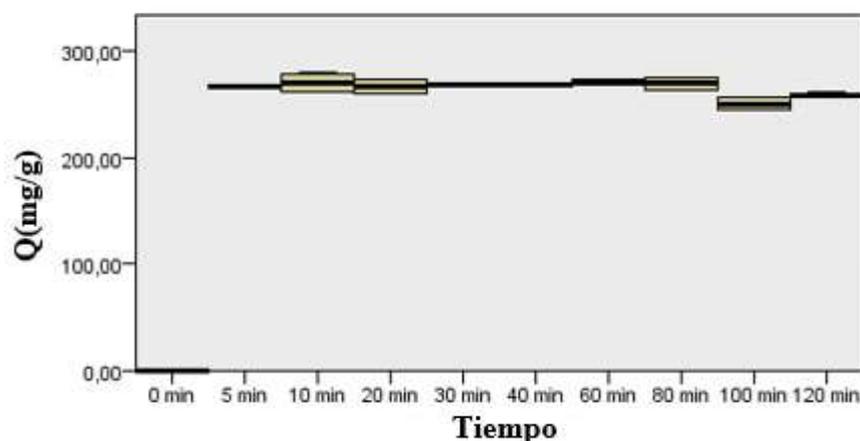
La tabla 38 muestra una variabilidad creciente moderada de los valores de la mediana, para CB, considerando que en el rango de 0-5 minutos tiene un valor 56,65 mg/g, en el rango de 6 a 22 minutos llega a un valor de 84,90 mg/g, llegando al equilibrio en el rango de 32 a 120 minutos. La figura 67 muestra como tiempo óptimo el rango de 40 a

120 minutos para la adsorción del Pb^{2+} de las soluciones acuosas para CB. La elaboración de la tabla 38 y la figura 67 se realizó con los datos experimentales del anexo I y la tabla 6.2.

Tabla 39 Capacidad de adsorción estípites de *Pleurotus spp* (EP) en función del tiempo para el plomo (II)

	Tiempo									
	0			20	30	40	60	80	100	120
	min	5 min	10 min	min	min	min	min	min	min	min
N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Media	0,0	266,8	270,1	266,9	268,6	269,1	271,5	269,4	250,6	258,9
Mediana	0,0	266,8	270,0	266,9	268,6	269,1	271,5	269,4	250,6	258,8
SD	0,0	,1414	10,51	7,90	,1633	,1825	2,743	7,275	6,874	2,101
Rango	0,0	,30	18,60	13,80	,40	,40	4,90	12,80	12,30	4,10
Máximo	0,0	266,9	279,6	273,8	268,8	269,3	274,0	275,9	256,8	261,1

Figura 68 Capacidad de adsorción de estípites de *Pleurotus spp* (EP) para plomo (II) en función del tiempo



La tabla 39 muestra una variabilidad creciente moderada de los valores de la mediana, para EP, considerando que en el rango de 0-5 minutos tiene un valor 266,8 mg/g, en el rango de 30 a 80 minutos llega a un valor de 269.4 mg/g, llegando al equilibrio. La figura 68 muestra como tiempo óptimo el rango de 30 a 80 minutos para la adsorción

del Pb^{2+} de las soluciones acuosas por EP. La elaboración de la tabla 39 y la figura 68 se realizó con los datos experimentales del anexo I y la tabla 6.3.

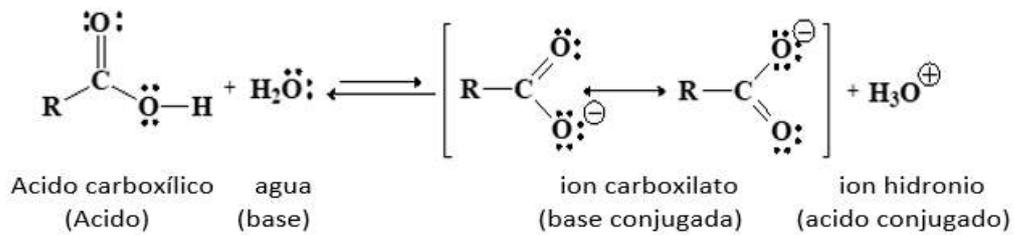
De las figuras 63, 64 y 65, para Cd^{2+} ; y las figuras 66,67 y 68 para Pb^{2+} se observa que la velocidad de adsorción es muy rápida entre los primeros 5 minutos para los 3 bioadsorbentes MA, CB y EP llegando al equilibrio en un promedio de 60 minutos.

Los bioadsorbentes en estudio tienen un comportamiento similar en función al tiempo con lo expresado por Campos E. 2008 “En el rango de 0 a 5 minutos se observa que el contacto de la solución con el biosorbente se produce la mayor cantidad de adsorción de iones metálicos, en el intervalo de 5 a 25 minutos se da un ajuste donde se ocupan todos los sitios activos del biosorbente por parte de los iones metálicos, y de 25 minutos en adelante ya no se lleva a cabo ninguna adsorción. Asimismo, el valor de “q” es muy alto lo que indica la probabilidad de formar una monocapa en la superficie del adsorbente”

El comportamiento de la capacidad de adsorción de MA, CB y EP en función del tiempo que muestran las figuras 66,67 y 68 para Pb^{2+} son similares según Guyo y otros, 2015 al estudiar la remoción de plomo con las biomásas de los residuos de las plantas de maíz y pepas de mango donde distinguen tres zonas la primera, en un corto periodo inicial existe una gran adsorción, incrementándose el valor de qt debido a que los sitios activos vacíos son ocupados rápidamente por el ion plomo (II). La segunda fase, el proceso de biosorción continua en menor cantidad; mientras que en la tercera los valores de qt no varían apreciablemente, lo que significa que está llegando al equilibrio por que los sitios de la superficie del adsorbente ya estarían todos ocupados. La condición de equilibrio se alcanza luego de una hora de contacto.

La rapidez del proceso de adsorción se debe a la química acuosa del ion metálico donde el rol más importante es el pH del medio. Donde los grupos funcionales de la pared celular de los bioadsorbentes como los grupos carboxilo $-COOH$, aminos $-NH_2$, fosfatos PO_4^{3-} , tioles $-SH$ e hidroxilos $-OH$, tienen la capacidad de enlazar al ion metálico por atracción de cargas opuestas. El ion carboxilato según la teoría Bronsted y Lowry en presencia de agua es la base conjugada del ácido carboxílico según las ecuaciones de la figura 69 y reacciona con el metal que está cargado positivamente.

Figura 69 Ecuaciones de Bronsted y Lowry



Los gráficos q vs t, de figuras 63, 64 y 65, para Cd^{2+} ; y las figuras tablas 66,67 y 68 para Pb^{2+} son similares al comportamiento de los procesos de adsorción estudiados por Aghababai y Akbar (2020). ▲

3.3.3.3 Comparación de la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes MA, CB y EP para plomo (II) y cadmio en función del tiempo.

Para graficar las figuras 43,44 y 45 se obtuvieron de las tablas 5.1,5.2 y 5.3 para cadmio y las tablas 6.1;6.2 y 6.3 para plomo (II) del anexo I.

Figura 70 Capacidad de adsorción de *Mintostachys acris* (MA) para Pb (II) y Cd (II) en función del tiempo

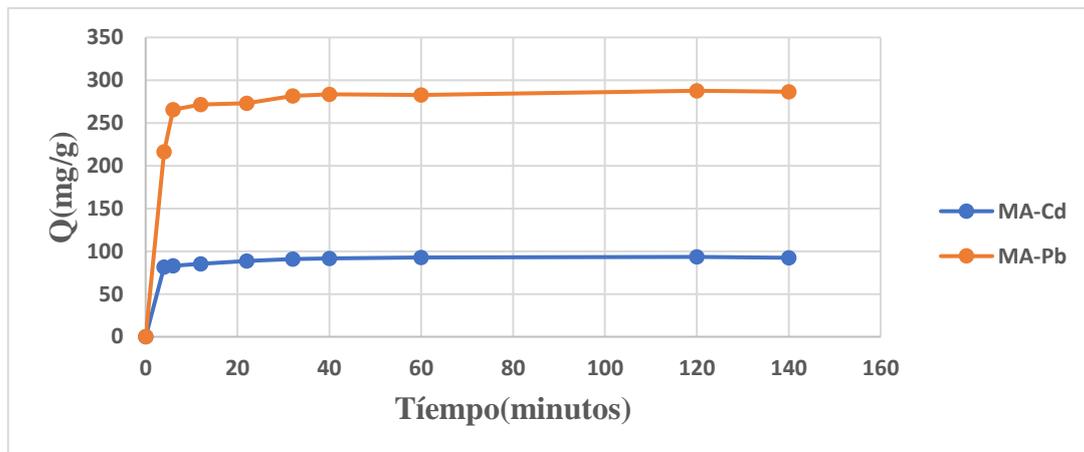


Figura 71 Capacidad de adsorción de *Clinopodium bolivianum* (CB) para Pb (II) y Cd en función del tiempo

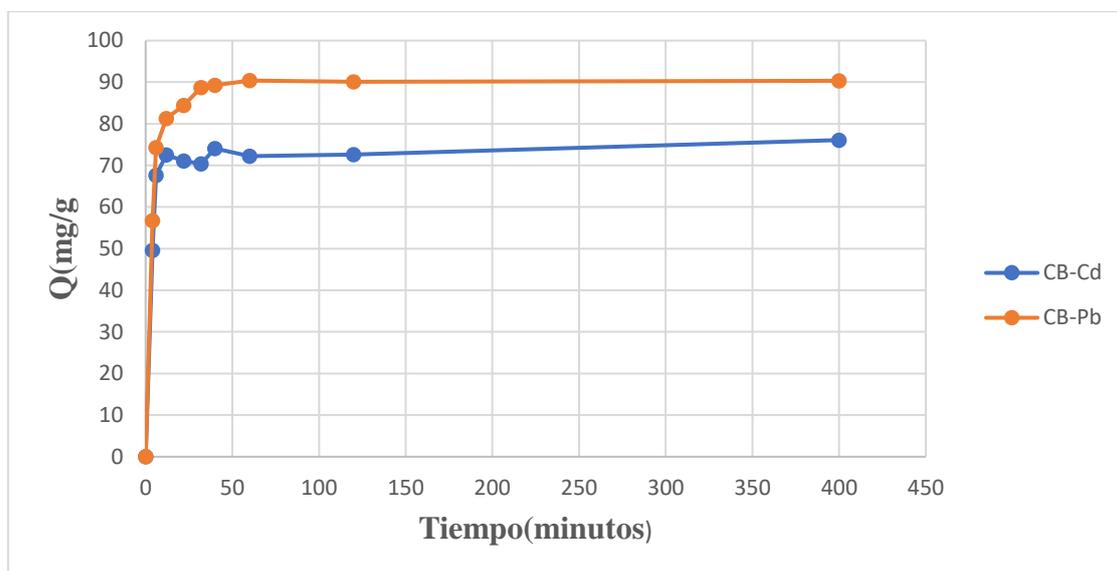
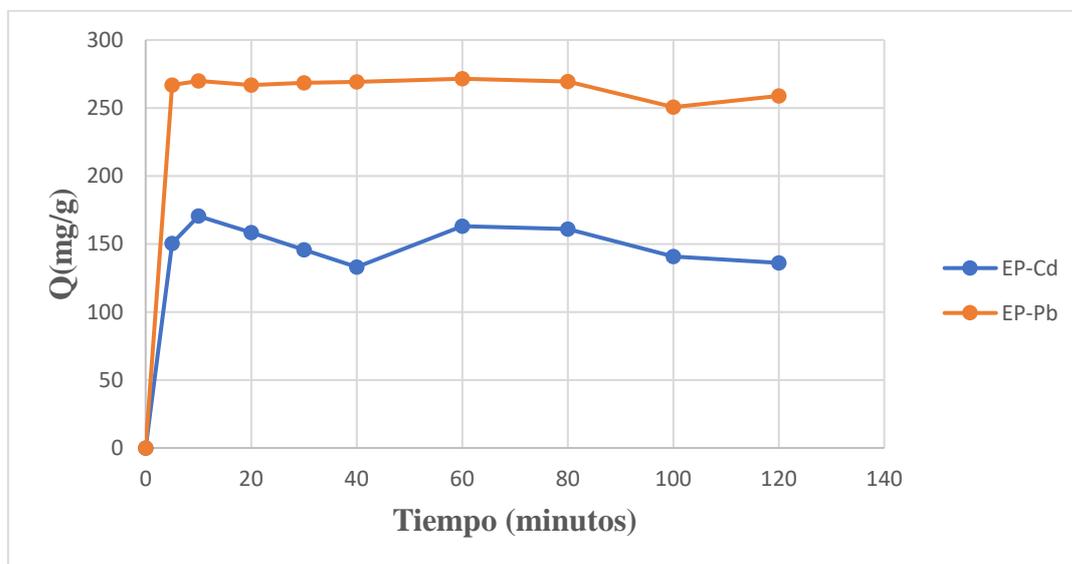


Figura 72 Capacidad de adsorción de estípites de *Pleurotus spp*(EP) para Pb(II) y Cd(II) en función del tiempo



Resultados de las figuras 70,71y 72 de los bioadsorbentes MA, CB y EP para la adsorción de Pb^{2+} y Cd^{2+} de soluciones acuosas muestran un comportamiento similar a los estudios realizados por (Cuizano y otros, 2010), cuando evaluó la capacidad de adsorción de plomo (II), cadmio, zinc y cobre de soluciones acuosas con algas marinas pardas *Lessonia nigrescens* Bory (L13) y *Macrocystis integrifolia* (Bory S12); la

capacidad de adsorción sigue la tendencia: $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+}$ Asimismo, indicaron que las algas marinas poseen una alta afinidad hacia metales pesados por la alta concentración de grupos carboxilo de poli alginatos, los cuales se cargan negativamente a pH mayores de 3,0. Finalmente, demostraron que la adsorción de cationes divalentes como Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} y Cu^{2+} se produce principalmente por vía electrostática (intercambio iónico)

Navarro *et. al* (2006), en su estudio sobre el proceso de adsorción con pectina, encontraron la siguiente afinidad para los iones: $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+}$. Si en la solución están presentes cationes con la misma carga, el ion de mayor peso atómico será mejor y más eficientemente adsorbido en comparación de los demás debido a su acidez y su interacción con pares de electrones libres del adsorbente será favorecida.

La superioridad de los valores altos de capacidad de adsorción para Pb^{2+} , se explica por los conceptos de ácidos y bases de Lewis, que relaciona masa y carga del catión (Pagnanelli y otros, 2003). Poseer una gran masa representa tener un volumen adecuado que crea una eficiente separación de cargas dentro del ion metálico, existiendo una alta polarización dentro del ion que minimiza las repulsiones electrón-electrón entre el adsorbente y adsorbato (Sheng y otros, 2004). Esta hipótesis se cumple en este trabajo de investigación ya que se observa la siguiente tendencia en capacidades de adsorción para los iones divalentes: $Pb^{2+} > Cd^{2+}$ y está de acuerdo con la relación masa/carga, según las figuras 43, 44 y 45 para MA, CB y EP respectivamente.

3.3.4 Modelo cinético de pseudo primer orden y pseudo segundo orden

La evaluación del modelo cinético de pseudo primer orden y pseudo segundo orden que sigue los bioadsorbentes MA, CB y EP con soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} se realiza considerando los niveles de correlación según Uluozlu et al, 2008; y es como sigue:

$0 < R^2 < 0,6$ El modelo es pobre; $0,6 < R^2 < 0,9$ El modelo es bueno y $0,9 < R^2 < 1$ El modelo es muy bueno. Los modelos cinéticos linealizados se realizaron con el programa Excel, utilizando los datos experimentales respectivos para cada bioadsorbente con cada metal en estudio.

3.3.4.1 Modelo cinético de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para cadmio

Para evaluar el modelo cinético de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para Cd^{2+} en soluciones acuosa con los bioadsorbentes MA, CB y EP; se construyen las gráficas correspondientes con los datos experimentales obtenidos de la capacidad de adsorción en función del tiempo, según el anexo I y las tablas 7.1, 7. 2 y 7.3.

3.3.4.1.1 Bioadsorbente *Mintosthachys acris* (MA)

Figura 73 Modelo Cinético de pseudo primer orden de la adsorción de Cd por MA

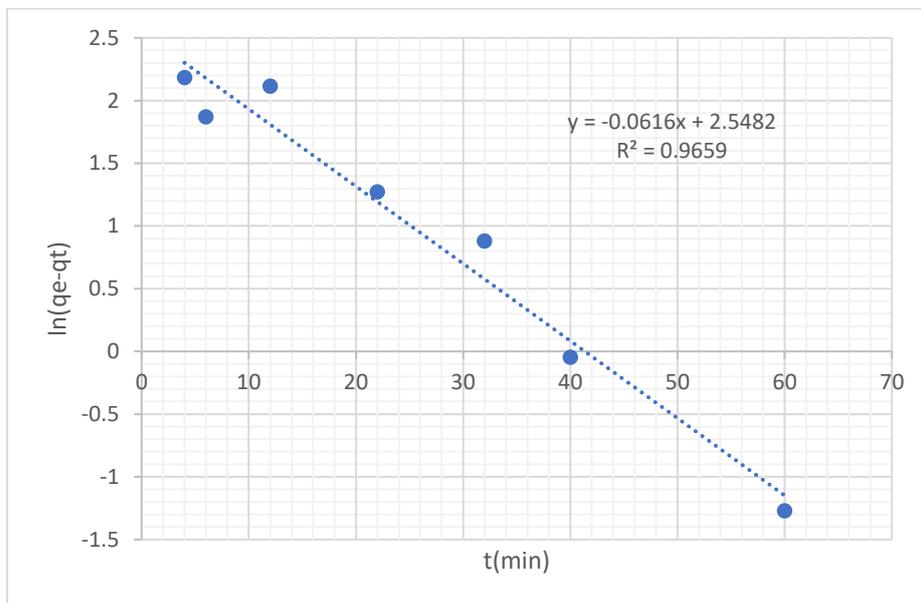


Figura 74 Modelo cinético de pseudo segundo orden de la adsorción de Cd por MA

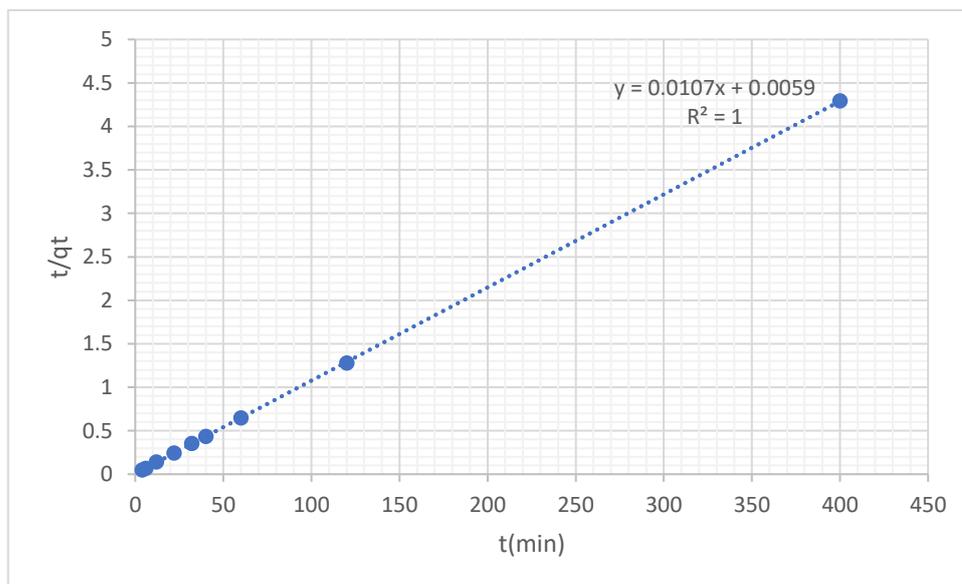


Tabla 40 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de MA para cadmio

Pseudo primer orden				Pseudo segundo orden			
qe(mg/g)	qe(mg/g)	K_1	R^2	qe(mg/g)	V_0	K_2	R^2
Experimental	calculado			calculado			
93,21	12,784	0,062	0,965	93,467	169,491	0,019	1

De los resultados de las figuras 73 y 74 al realizar el ajuste mediante la regresión lineal, los coeficientes de correlación en el modelo de pseudo primer orden y pseudo orden fue de 0,965 y 1 respectivamente con el bioadsorbente MA para Cd^{2+} de las soluciones acuosos; según la clasificación de Uluzlu et al, 2008 el modelo de pseudo primer y segundo orden son buenos. La tabla 40 muestra que la capacidad de adsorción en el equilibrio(qe) experimental de 93,21mg/g es muy similar al calculado por el modelo matemático de pseudo segundo orden con un valor de 93,465mg/g.

3.3.4.1.2 Bioadsorbente *Clinopodium bolivianum* (CB)

Figura 75 Modelo de cinético de pseudo primer orden de adsorción de Cd por CB

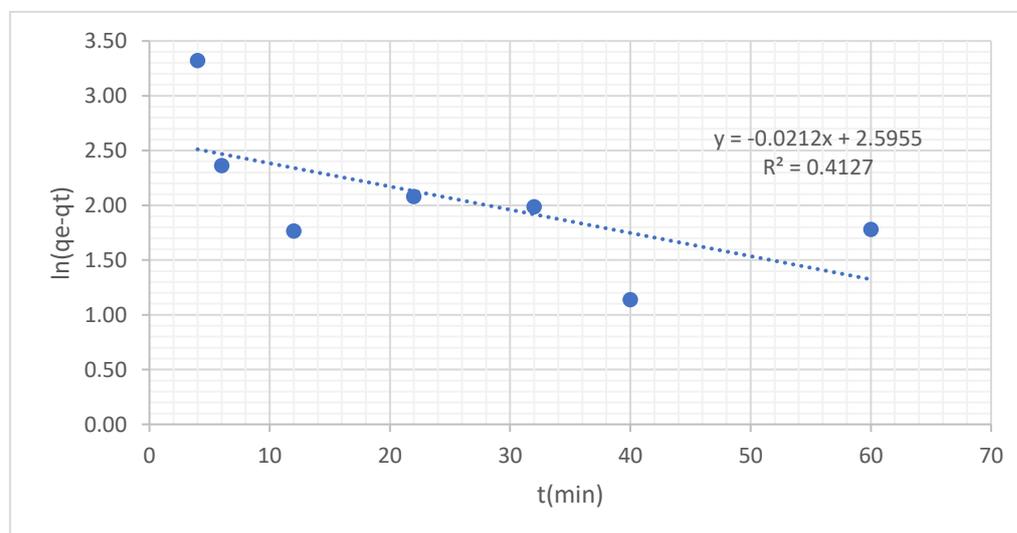
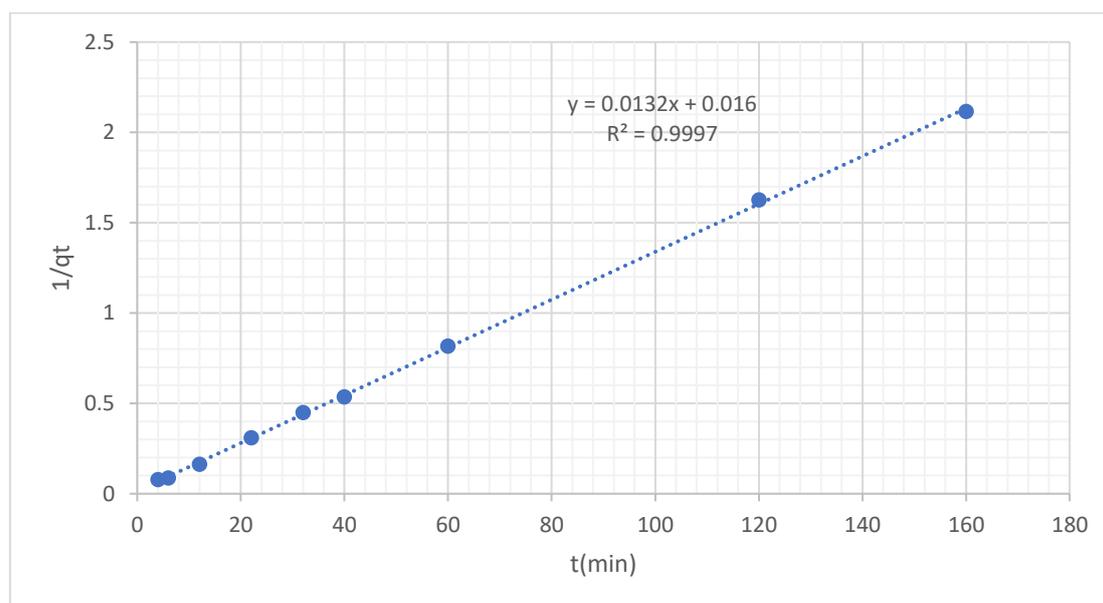


Figura 76 Modelo de cinético de pseudo segundo orden de adsorción de Cd por CB



De la figura 75 podemos indicar que el coeficiente de correlación según el ajuste de regresión lineal el modelo de pseudo primer orden es muy pobre para el sistema CB-Cd, de las soluciones acuosas por encontrarse en rango de $0 < R^2 < 0,6$; tiene un valor de 0.4127, pero en el pseudo segundo orden el coeficiente de correlación es 0,999 y se considera un modelo matemático muy bueno, según los resultados de la figura 76.

Tabla 41 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de CB para Cd

		Pseudo primer orden			Pseudo segundo orden		
qe(mg/g)	qe(mg/g)	K ₁	R ²	qe(mg/g)	V ₀	K ₂	R ²
Experimental	calculado			calculado			
75,62	8,52	0,03	0,412	75,187	392,152	0,069	0,997

Los resultados de la tabla 41 muestra que el sistema CB-Cd de las soluciones acuosas, para el pseudo segundo orden tiene un valor de la capacidad de adsorción en el equilibrio experimental de 75,62mg/g, valor muy similar al calculado según el modelo de pseudo segundo orden con un valor de 75,187mg/g. de lo contrario con el valor calculado en el pseudo primer orden que tiene un valor de 8,52mg/g.

3.3.4.1.3. Bioadsorbente estípite de *Pleurotus spp* (EP)

Figura 77 Modelo cinético de pseudo segundo orden de adsorción de EP para Cd

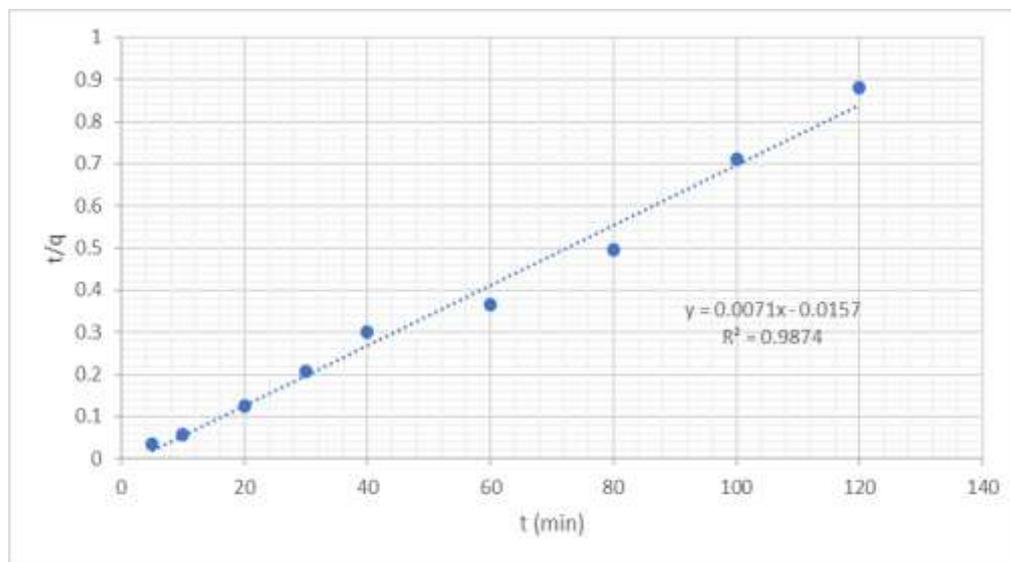
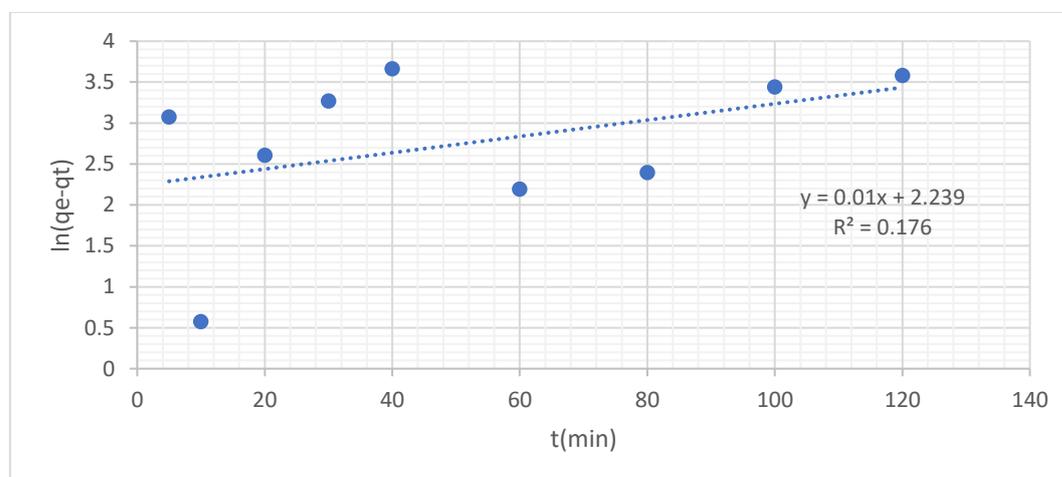


Figura 78 Modelo cinético de pseudo primer orden de adsorción de EP para Cd



De los resultados de las figuras 77 y 78 según el ajuste de regresión final el sistema EP-Cd de las soluciones acuosas se ajusta al modelo de pseudo segundo orden por tener el coeficiente de correlación de 0,9874.

Tabla 42 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de EP para Cd

Pseudo primer orden				Pseudo segundo orden			
qe(mg/g) Experimental	qe(mg/g) calculado	K_1	R^2	qe(mg/g) calculado	V_0	K_2	R^2
172	9,383	0,01	0,176	140,85	63,694	0,003	0,987

Según la tabla 42 los valores de la capacidad de adsorción en el equilibrio para el modelo de pseudo segundo orden no tiene un valor similar como los sistemas MA-Cd y CB-Cd. Pero se puede afirmar que el valor calculado es de 140,85mg/g y el experimental de 172mg/g. con respecto al modelo de pseudo segundo orden.

3.3.4.2 Modelo cinético de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para plomo

Para la construcción de los gráficos de los sistemas MA-Pb, CB-Pb y EP-Pb y la valuación del modelo matemático cinético se considera los datos experimentales de las tablas 8.1;8.2 y 8.3 del anexo I.

3.3.4.2.1 Bioadsorbente *Minthostachys acris* (MA)

Figura 79 Modelo cinético de pseudo primer orden de MA para plomo (II)

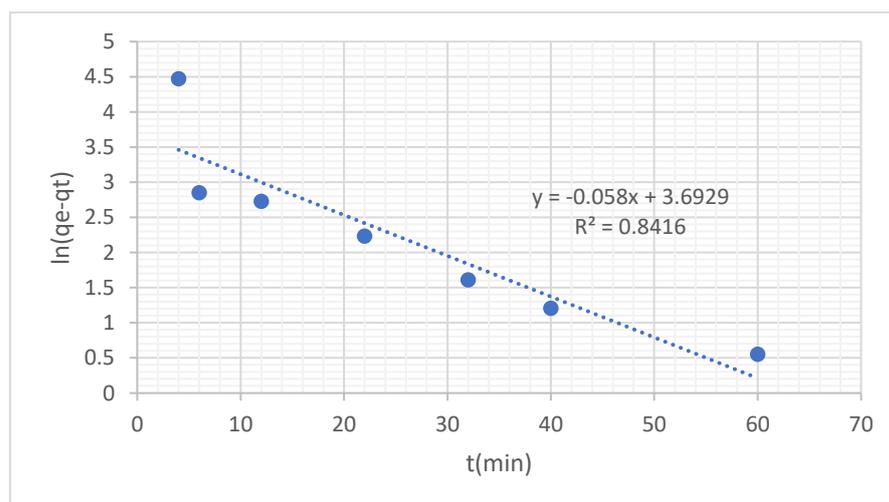
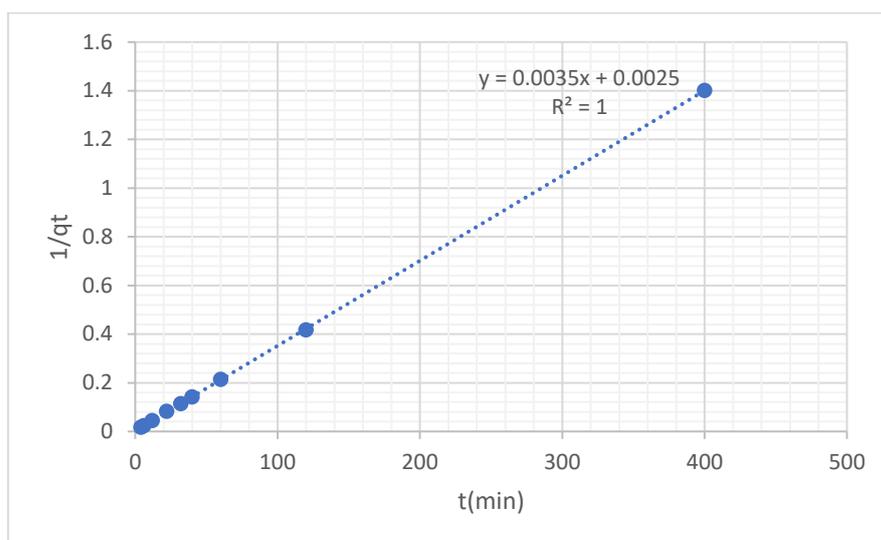


Figura 80 Modelo Cinético de pseudo segundo orden de MA para plomo (II)



De la figura 79 y 80 podemos indicar que el coeficiente de correlación según el ajuste de regresión lineal el modelo de pseudo primer orden y pseudo segundo orden tienen valores de 0,8416 y 1 respectivamente para el sistema MA-Pb, de las soluciones acuosas, considerando un modelo matemático bueno y muy bueno, según Uluozlu et al, 2008.

Tabla 43 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de MA para plomo (II)

	Pseudo primer orden			Pseudo segundo orden				
	qe(mg/g) Experimental	qe(mg/g) calculado	K ₁	R ²	qe(mg/g) calculado	V ₀	K ₂	R ²
	287.67	34.456	0.035	0.841	285.714	384.615	0.004	1

Los resultados de la tabla 43 muestra que el valor de qe, experimental tiene un valor de 287,67mg/g y el calculado un valor de 285,714mg/g valores muy próximos, con respecto al modelo de pseudo segundo orden.

3.3.4.2.2 Bioadsorbente *Clinopodium bolivianum* (CB)

Figura 81 Modelo Cinético de pseudo primer orden de CB para plomo (II)

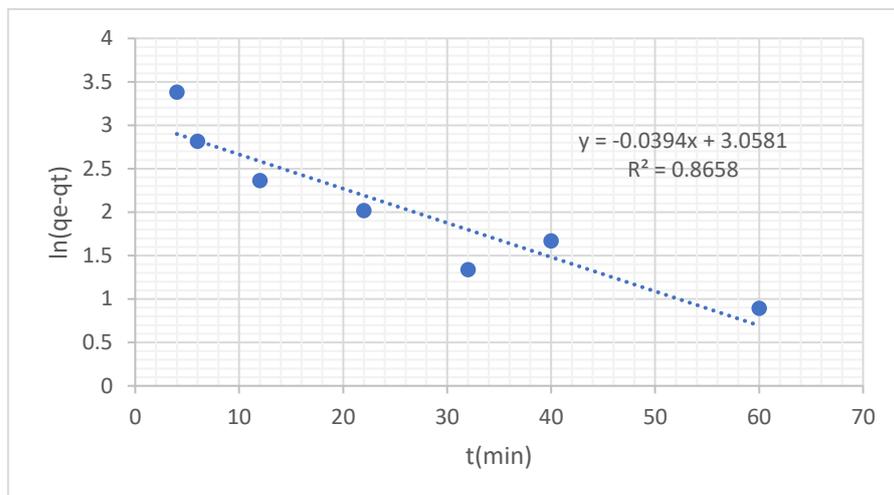
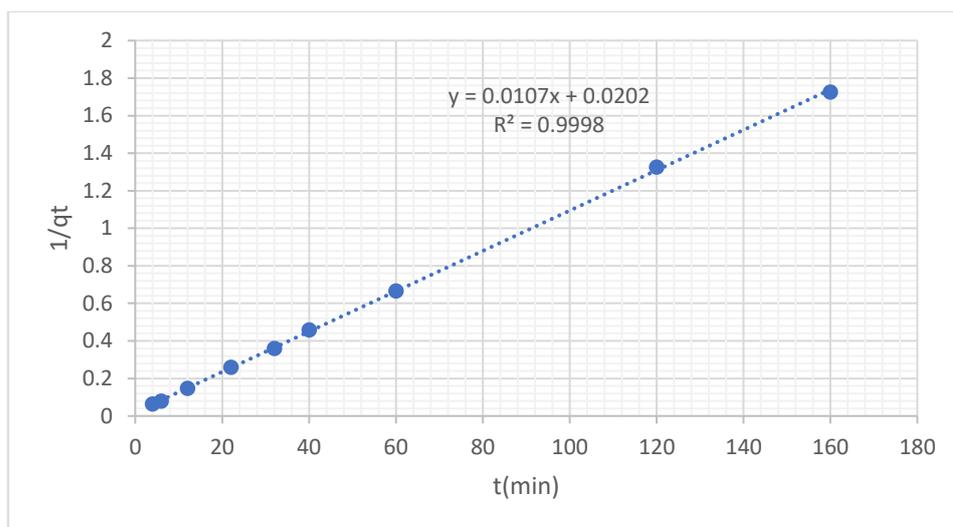


Figura 82 Modelo Cinético de pseudo segundo orden de CB para plomo (II)



De la figura 81 y 82 podemos indicar que el coeficiente de correlación según el ajuste de regresión lineal el modelo de pseudo primer orden y pseudo segundo orden tienen valores de 0,8685 y 0,998 respectivamente para el sistema CB-Pb, de las soluciones acuosas, considerando un modelo matemático bueno y muy bueno, según Uluozlu et al, 2008.

Tabla 44 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de CB para plomo (II)

Pseudo primer orden				Pseudo segundo orden			
qe(mg/g) Experimental	qe(mg/g) calculado	K_1	R^2	qe(mg/g) calculado	V_0	K_2	R^2
93,21	29,359	0,047	0,865	93,457	49,504	124,675	0,999

Según la tabla 44 los valores de qe experimental de 93,21mg/g y calculado el valor de 93,457mg/g; tienen una buena relación con el modelo matemático de pseudo segundo orden.

3.3.4.2.3. Bioadsorbente de estípite de *Pleurotus spp* cultivado (EP)

Figura 83 Modelo de cinética de pseudo primer orden de EP para plomo (II)

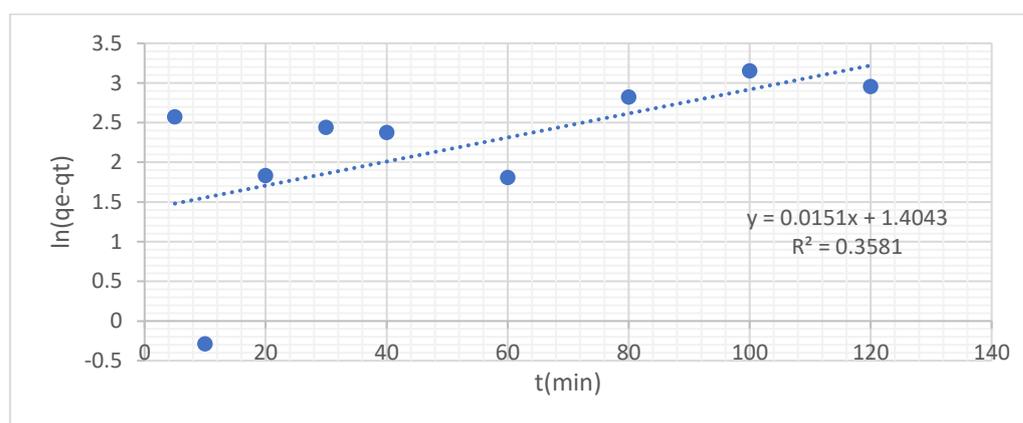
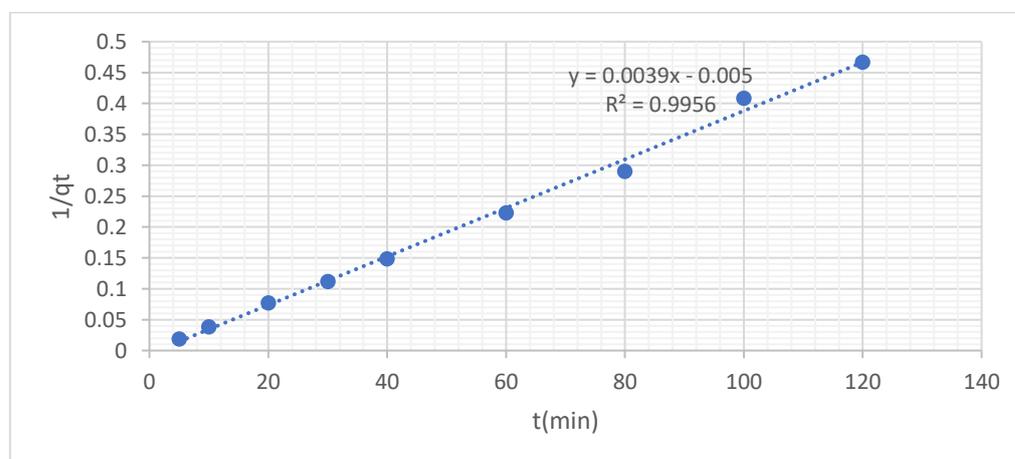


Figura 84 Modelo de cinética de pseudo segundo orden de EP para plomo (II)



De la figura 83 y 84 podemos indicar que el coeficiente de correlación según el ajuste de regresión lineal el modelo de pseudo primer orden y pseudo segundo orden tienen valores de 0,3581 y 0,9956 respectivamente para el sistema EP-Pb, de las soluciones acuosas, considerando un modelo matemático pobre y muy bueno, según Uluozlu et al, 2008.

Tabla 45 Constantes del modelo de primer orden y segundo orden de EP para plomo (II)

		Pseudo primer orden			Pseudo segundo orden		
qe(mg/g)	qe(mg/g)	K₁	R²	qe(mg/g)	V₀	K₂	R²
Experimental	calculado			calculado			
280	4,072	-0,015	0,358	256,41	200	0,003	0,995

Según la tabla 45 los valores de qe experimental de 280 mg/g y calculado el valor de 256,41 mg/g; tienen una buena relación con el modelo matemático de pseudo segundo orden.

Tabla 46 Resultados de la cinética parámetros de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden

Pseudo primer orden					
	qe(mg/g) Experimental	qe (mg/g) Calculado	K₁ (L/min)		R²
Bioadsorbente-metal					
MA-Cd	93,21	12,78	0,062		0,97
CB-Cd	75,62	8,52	0,033		0,41
EP-Cd	172,00	9,38	0,010		0,18
MA-Pb (II)	287,67	34,46	0,035		0,84
CB-Pb (II)	93,21	29,36	0,047		0,87
EP-Pb (II)	280,00	4,07	0,015		0,36
Pseudo segundo orden					
	qe(mg/g) Experimental	qe (mg/g) Calculado	vo (mg/min)	K₂ (g/mg-min)	R²
bioadsorbente-metal					
MA-Cd	93,21	93,46	169,49	0,019	1,00
CB-Cd	75,62	75,19	392,16	0,069	1,00
EP-Cd	172,00	140,85	63,69	0,003	0,99
MA-Pb (II)	287,67	285,71	384,62	0,004	1,00
CB-Pb (II)	93,21	93,46	49,51	124,675	1,00
EP-Pb (II)	280,00	256,41	200,00	0,003	1,00

Los resultados de la tabla 46, considerando los niveles de correlación según Uluozlu et al, 2008 y al realizar el ajuste de regresión lineal al modelo de pseudo primer y pseudo segundo orden los sistemas MA-Cd, CB-Cd y EP-Cd a un pH de 6 ; y MA-Pb y CB-Pb a un pH de 3 y; EP-Pb a un pH de 4 se ajustan al modelo de pseudo segundo orden, considerando que podría ser una quimisorción, aclarando que la superficie o la pared celular de los bioadsorbentes son muy complejas y complicado indicar que tipo de interacción ocurre en el proceso de bioadsorción con los biomateriales (Plaza, 2012)

Según estudios de adsorción los investigadores indican que “La mayoría de los trabajos de biosorción que aplican los modelos de pseudo primer orden (PPO) y pseudo segundo orden(PSO) obtienen un mejor ajuste de sus datos cinéticos experimentales al modelo PSO, y asumen que en este modelo la etapa limitante de la velocidad de reacción involucra la adsorción química, donde la remoción del metal de la solución se debe casi

exclusivamente a las interacciones fisicoquímicas entre el metal y el biosorbente a través del intercambio iónico o uniones covalentes (Plaza, 2012).

García (2021) encontró para una concentración inicial de 30ppm de solución acuosa de Pb^{2+} que a 240 minutos se llega a un tiempo de contacto optimo a un pH de 4 y dosis de 0.5g de cascara amarilla de maracuyá. Los valores para el modelo de pseudo segundo orden fueron de 22,1629mg/g para la capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e); la constante K_2 fue de 0,00004mg/g-min y el valor de R^2 fue 0, 8915. Para pseudo primer orden encontraron (q_e) 24,897333, K_1 0.0004 y R^2 0,9721.

Vera et al (2016) estudiaron como bioadsorbente el bagazo de caña para Pb (II) y Cd de soluciones acuosas en un rango de 10 a 40ppm, se ajustó al modelo de pseudo segundo orden con R^2 de 1 para Pb^{2+} a pH 5 y para Cd^{2+} a un pH de 6 se obtuvo R^2 de 0,99.

Estudios realizados por Manzoor et al (2013) utilizaron Rosa boubonia sin aceite esencial para adsorber Pb^{2+} de soluciones acuosas y encontraron que a pH de 4.5 llego a una q_e de 142,85mg/g con un coeficiente de correlación igual a 0,9652.

Miranda (2012), utilizo como bioadsorbente la cáscara de tuna tratado con formaldehido al 0,2% v/v, y encontró que la cinética de remoción de Pb^{2+} , se ajusta el modelo cinético de Pseudo segundo-orden, con un 99,97%, El modelo propone adsorción en monocapa pero una distribución heterogénea de la energía de los sitios activos.

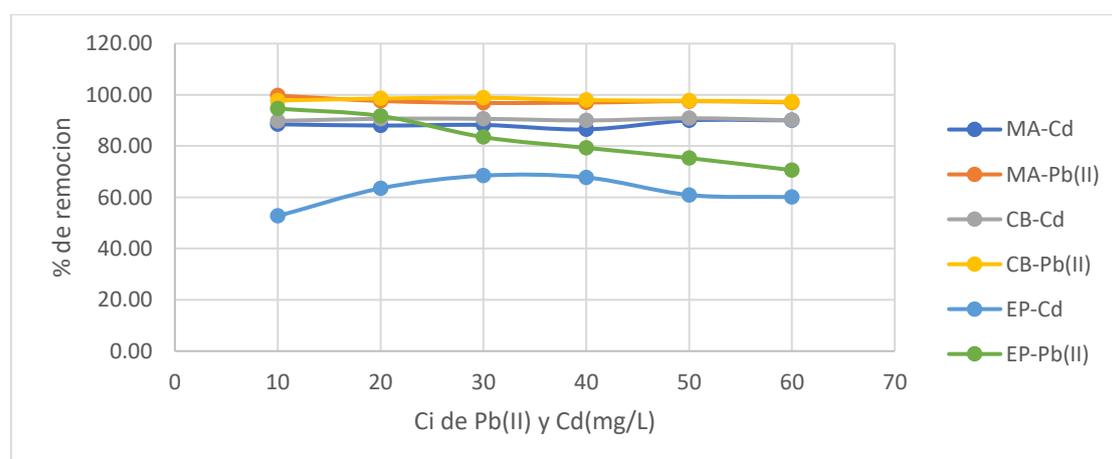
Xiangliang et al (2005), estudio cuerpos fructíferos de *Pleurotos ostreatus* y mostraron efectividad para la eliminación de Pb^{2+} de la solución acuosa, alcanzando un equilibrio en 45 minutos, ajustándose al modelo de Pseudo segundo orden y a la isoterma de Langmiur y Freundlich. La capacidad máxima de adsorción fue de 121,21 mg /g, los análisis de FTR -IR se atribuye a los grupos funcionales de amida I como interacción con el ion metálico.

Los resultados de estas investigaciones de la capacidad de adsorción de diferentes bioadsorbentes de soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} permiten demostrar que los resultados de esta investigación tienen un comportamiento similar.

3.3.5 Isotermas de adsorción en equilibrio

Las isotermas de Langmuir y Freundlich son modelos matemáticos lineales que describen la distribución entre el adsorbente y la disolución del ion metálico(adsorbato) en el estado de equilibrio, y poder comparar el rendimiento del proceso de adsorción. (Murithi, 2010). Los resultados experimentales de estos modelos matemáticos y empíricos con parámetros específicos, facilitaran realizar diseños de sistemas de bioadsorción a futuro; como también hacer las comparaciones de la capacidad del adsorbente para retener muchos contaminantes (Abdel & El, 2014). De acuerdo a los resultados de las tablas 9.1, 9.2 y 9.3 (Cd); y 10.1, 10.2 y 10.3(Pb) del anexo I se construye la Figura 85 del % remoción de cada bioadsorbente frente a la concentración inicial (C_i) Pb^{2+} y Cd^{2+} . La tabla 46 muestra los resultados del %A de los bioadsorbentes para Pb^{2+} y Cd^{2+} de soluciones acuosas.

Figura 85 *Minthostachys acris*(MA),*Clinopodium bolibianum*(CB) y *estípites de Pleurotus spp* cultivado(EP) C_i (concentración inicial de Pb(II) y Cd)



Según la figura 85 y trabajando con concentraciones iniciales 10,20,30,40 ,50 y 60 mg/L de cada uno de los metales en soluciones acuosas los sistemas MA-Pb y CB-Pb, CB-Pb y CB-Cd; y EP-Pb y EP-Cd llegan a % mayores de remoción desde 10 a 40 ppm y luego descienden con algunas pequeñas variaciones, considerando el mayor porcentaje de remoción para Pb^{2+} y Cd^{2+} es con los bioadsorbentes MA y CB.

Tabla 47 Porcentaje de remoción de *Pb* (II) y *Cd* de soluciones acuosas por MA, CB y EP

Parámetros constantes	Ci(mg/L) de Pb y Cd	%A					
		MA-Cd	MA-Pb (II)	CB-Cd	CB-Pb (II)	EP-Cd	EP-Pb (II)
t= 60 min	10	88.50	99.67	89.80	97.77	52.70	94.60
V=50ml	20	88.00	97.60	90.65	98.55	63.50	91.75
pH-Cd=6	30	88.23	96.83	90.63	98.86	68.46	83.50
pH-Pb (II)=4	40	86.50	96.97	90.00	97.92	67.77	79.30
MA y CB=0.3g	50	90.02	97.54	90.86	97.68	60.92	75.32
EP=0.1g	60	90.04	97.03	90.08	97.25	60.10	70.60
T ⁰ = 13 °C							

Los resultados de la tabla 47 muestran que el % de remoción de MA y CB es casi constante para concentración inicial de Pb^{2+} y Cd^{2+} . El bioadsorbente EP empieza a disminuir desde la concentración inicial de 30 ppm, también se puede observar que el % de remoción para Pb^{2+} es mayor frente al Cd^{2+} para cada uno de los bioadsorbentes.

3.3.5.1 Evaluación de las isothermas de bioadsorción de MA, CB y EP para los metales de Plomo (II) y cadmio.

Con los parámetros de masa, pH y tiempo óptimos obtenidos para cada bioadsorbente se aplicaron las pruebas experimentales y se realizó la construcción de las isothermas de adsorción. Con los resultados de las tablas 9.1, 9.2 y 9.3 para Cd^{2+} ; y 10.1, 10.2 y 10.3 para Pb^{2+} del anexo I; y se construyen las figuras 86,87 y 88 para Cd^{2+} ; 89,90 y 91 para Pb^{2+} .

3.3.5.2. Isothermas de adsorción para las soluciones acuosas de cadmio

Figura 86 *Isoterma de adsorción de MA para cadmio q_e (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). c_e (concentración de Cd en el equilibrio mg/L)*

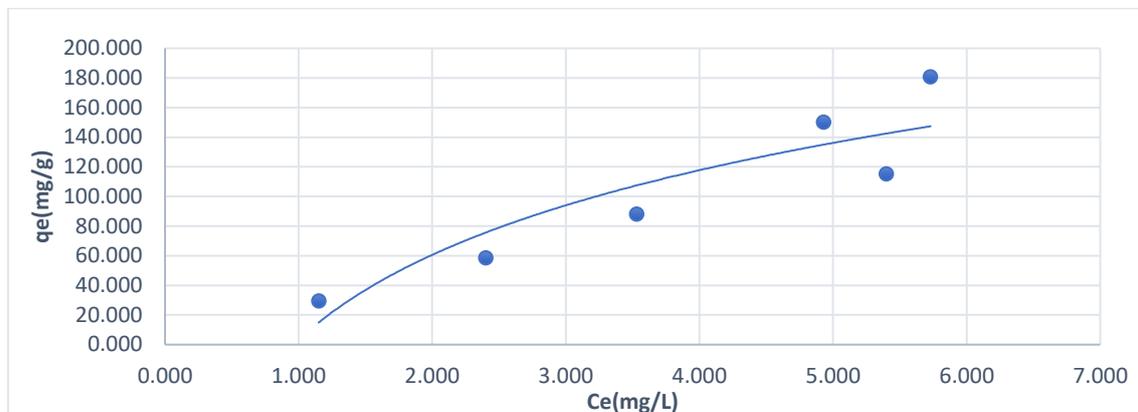


Figura 87 *Isoterma de adsorción de CB para cadmio q_e (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). c_e (concentración de Cd en el equilibrio mg/L)*

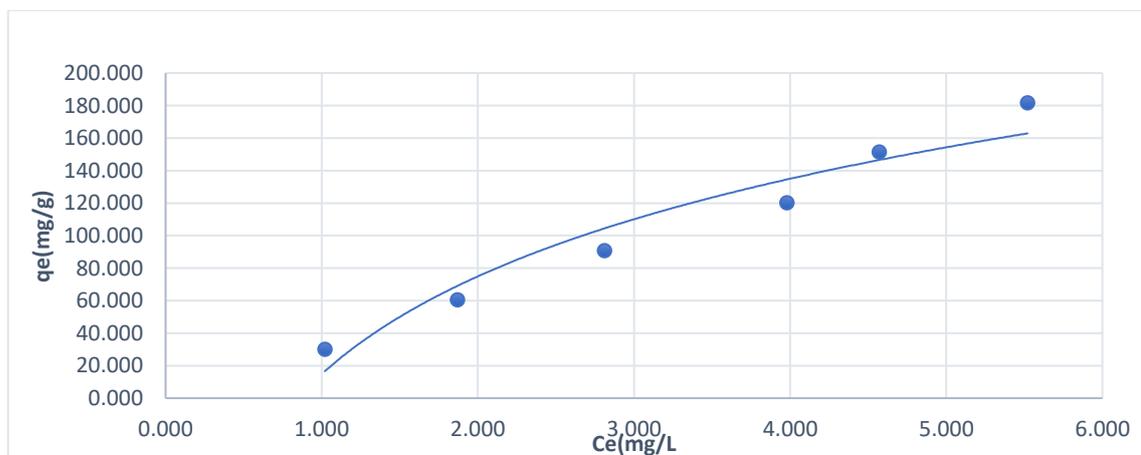
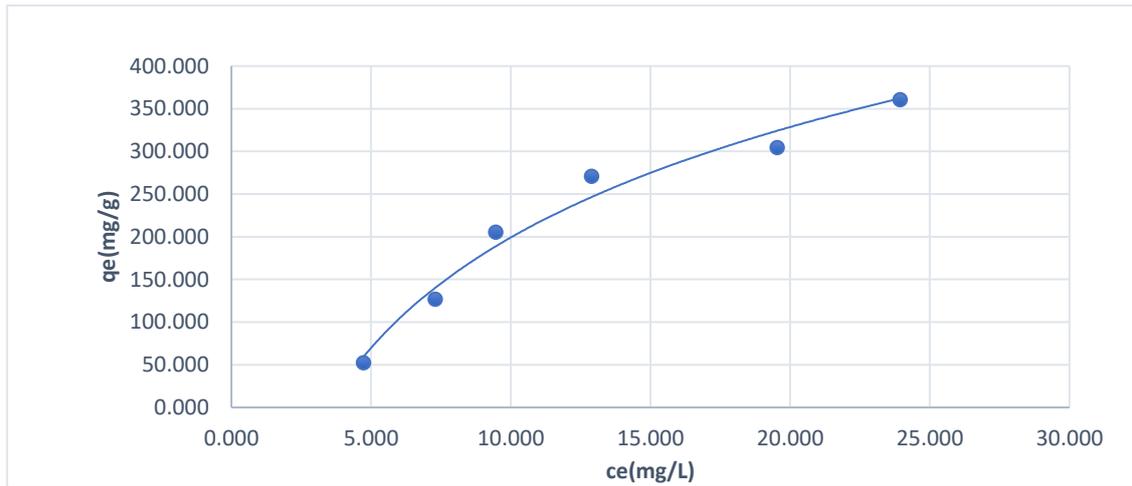


Figura 88 *Isoterma de adsorción de EP para cadmio q_e (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). c_e (concentración de Cd en el equilibrio mg/L)*



3.3.5.3 Isothermas de adsorción para las soluciones acuosas de Pb (II)

Figura 89 *Isotherma de adsorción de MA para Pb (II) qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Pb (II) en el equilibrio mg/L)*

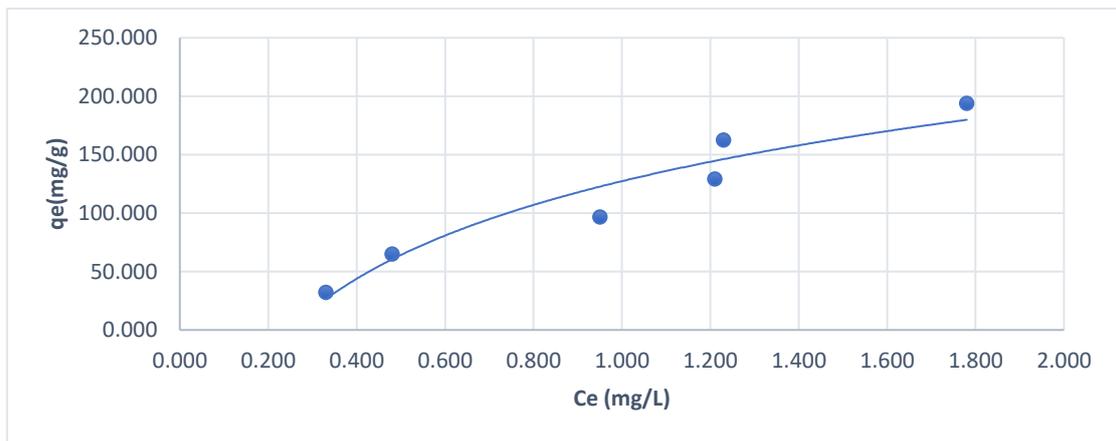


Figura 90 *Isotherma de adsorción de CB para Pb (II) qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Pb (II) en el equilibrio mg/L)*

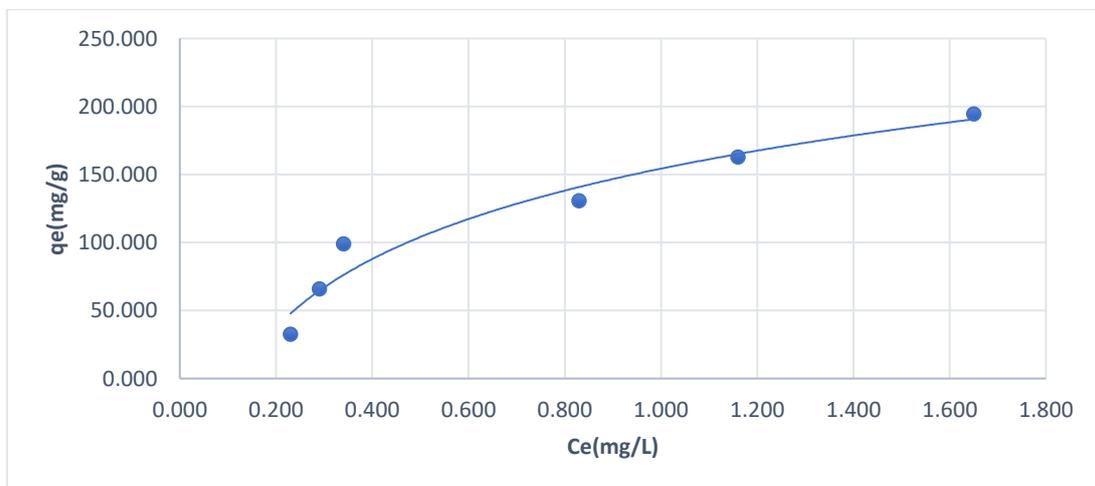
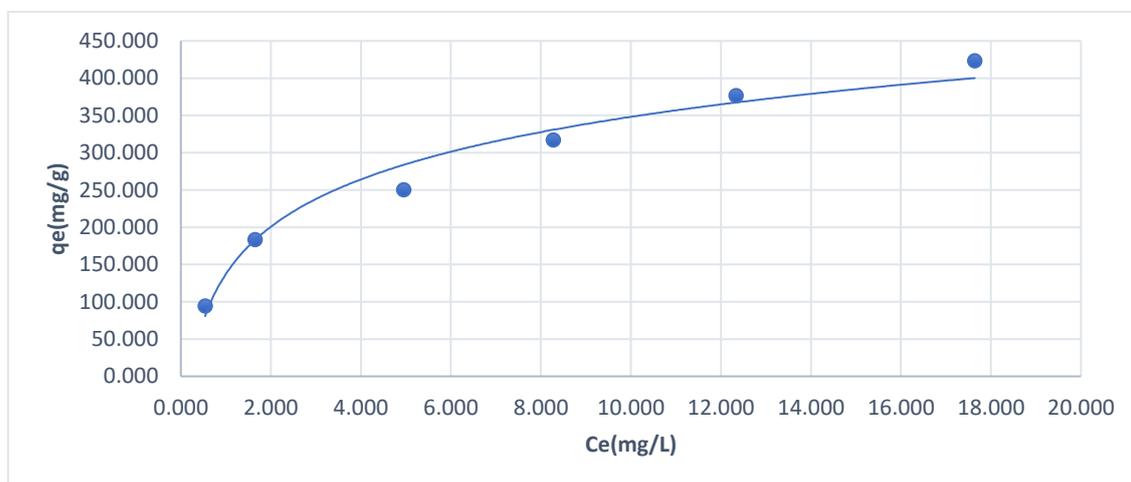
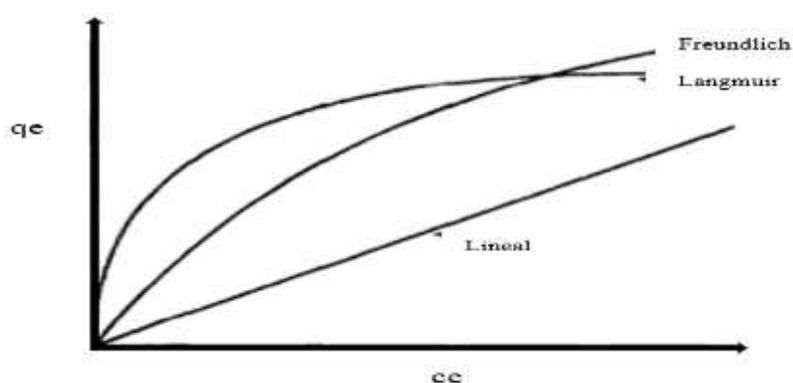


Figura 91 *Isoterma de adsorción de EP para Pb (II) qe (capacidad de adsorción en el equilibrio (mg /g). ce (concentración de Pb (II) en el equilibrio mg/L)*



Los datos experimentales de las gráficas (qe) Vs (ce) Figuras 86, 87 y 88 para Cd^{2+} ; figuras 89,90 y 91 para Pb^{2+} se asemejan bastante a las isotermas de Freundlich, según la figura 92. Los bioadsorbentes MA, CB y EP presentan isotermas que no se observa la región de convergencia como en la isoterma de Langmuir (Fig. 92), donde la curva alcanza una meseta asintótica llegando a una saturación según va aumentando la concentración del adsorbato (Cabrera D. 2018). En este estudio, las isotermas de adsorción mantienen una tendencia a aumentar (qe); según va aumentando la concentración inicial de los metales asemejando con la forma típica de la ecuación de Freundlich.

Figura 92 *Isotermas de Langmuir y Freundlich que describen muchos autores*



Fuente. Cabrera D. 2018

La capacidad de adsorción de plomo Pb^{2+} con *Ascophyllum nodosum* presenta un ajuste a la isoterma de Freundlich (Neptalí A et al.,2015) cuando se grafica (q_e) Vs (c_e) , muy similares a los bioadsorbentes MA, CB y EP para soluciones acuosas de Pb^{2+} y Cd^{2+} . Estudios realizados por Josefina Plaza Cazón,2012 en el trabajo “remoción de metales pesados empleando algas marinas” encontró que describe la isoterma de Freundlich al graficar capacidad de adsorción en el equilibrio(q_e) Vs concentración del adsorbato en el equilibrio(c_e), para los metales Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} y Hg^{2+} en soluciones acuosas. Se observo que no alcanzó a la meseta de saturación, más bien mantiene una tendencia a aumentar. Sin embargo, no es una evidencia suficiente que los datos experimentales puedan ser ajustados a una ecuación o modelo matemático para asignarle al proceso un mecanismo específico (Lodeiro y col., 2006).

3.3.6 Modelo matemático de Langmuir

A través de los datos experimentales que se muestran en las tablas 9.1, 9.2 y 9.3 para Cd^{2+} ; y 10.1, 10.2 y 10.3 para Pb^{2+} del anexo I se construyen las isotermas de adsorción con el modelo matemático de Langmuir. Según la ecuación 10, se determina la capacidad máxima (q_{max}) y el valor de la constante “b”, para los bioadsorbentes MA, CB y EP.

3.3.6.1 Modelo de Langmuir para cadmio

Figura 93 *Isoterma de Langmuir MA-Cd*

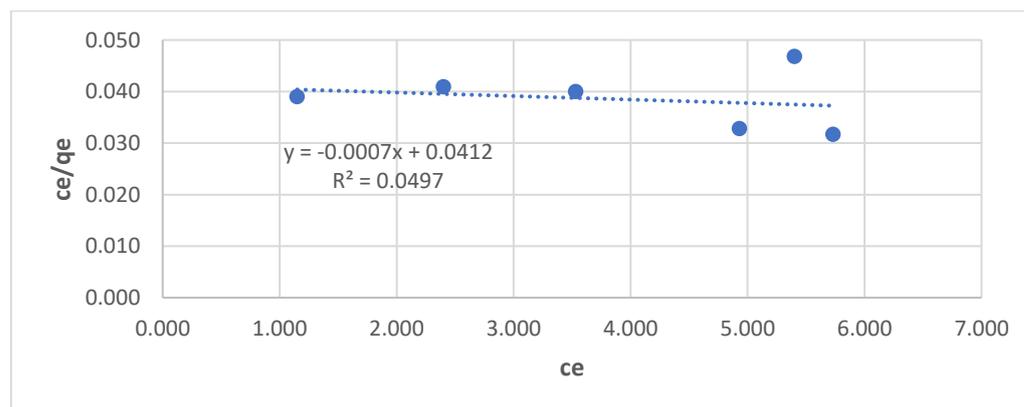


Figura 94 *Isoterma de Langmuir CB-Cd*

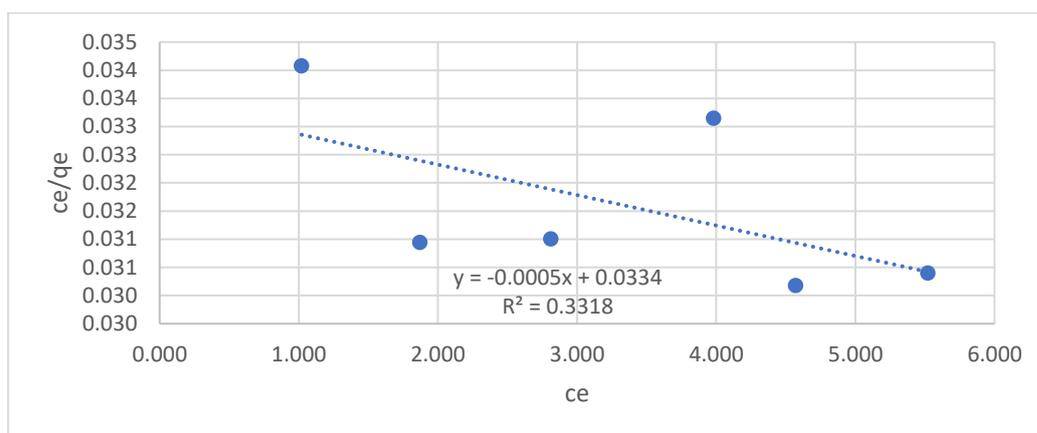
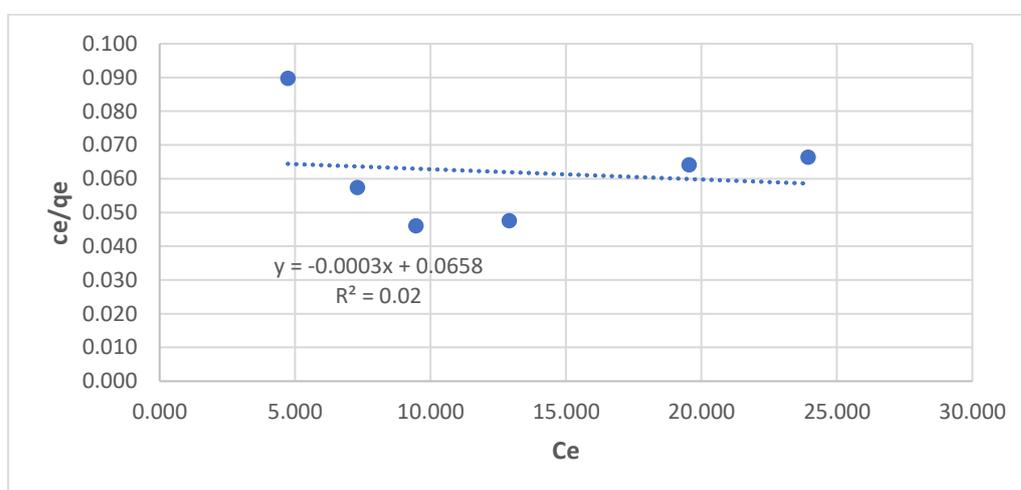


Figura 95 *Isoterma de Langmuir EP-Cd*



Los resultados de las figuras 93, 94 y 95 que representan a los sistemas MA-Cd, CB-Cd y EP Cd de acuerdo a los niveles de correlación: $0 < R^2 < 0,6$ El modelo es pobre; $0,6 < R^2 < 0,9$ El modelo es bueno y $0,9 < R^2 < 1$ El modelo es muy bueno según Uluozlu et al, 2008 y realizando la regresión lineal de los modelos de Langmuir para Cd^{2+} de soluciones acuosas son modelos pobres, por lo tanto, no ajustan a este modelo.

3.3.6.2 Modelo matemático de Langmuir para Plomo (II)

Figura 96 *Isoterma de Langmuir de MA-Pb (II)*

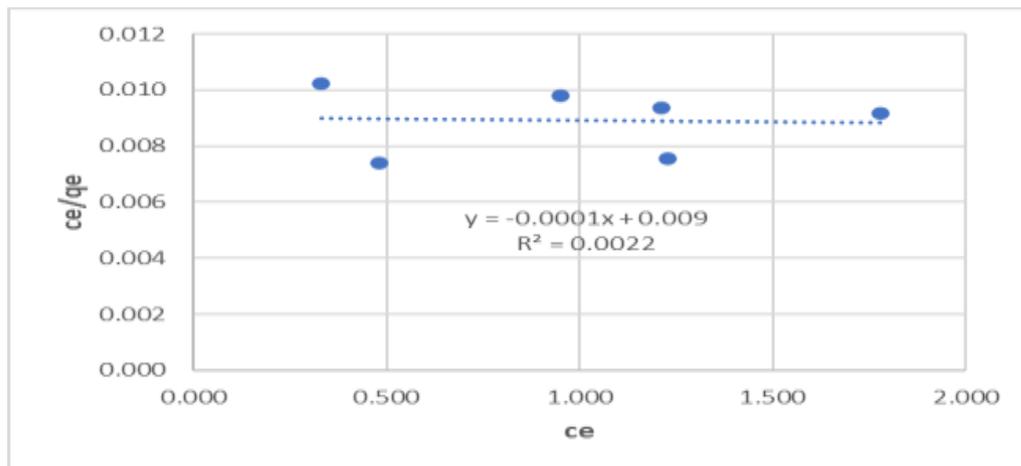
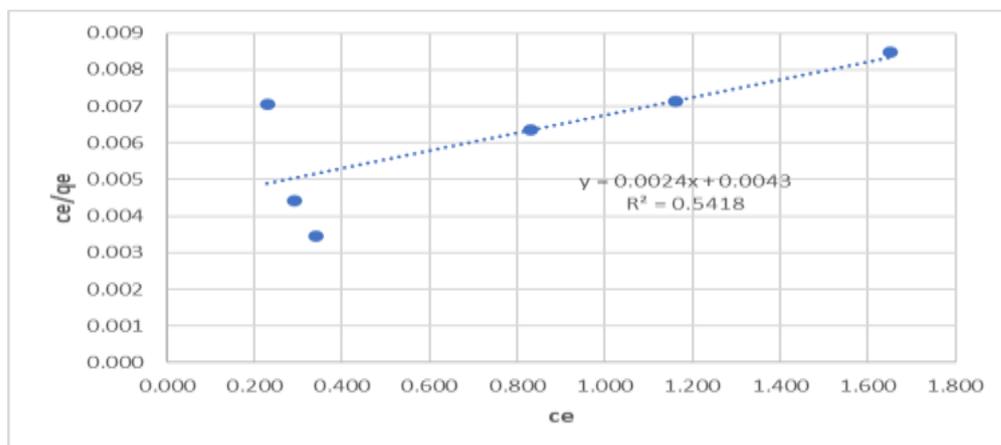
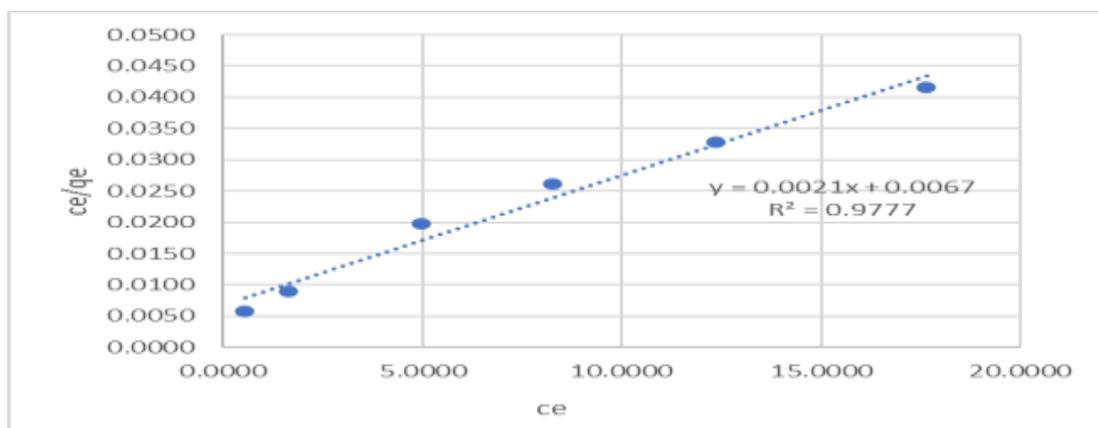


Figura 97 *Isoterma de Langmuir de CB-Pb (II)*



Según los resultados de las figuras 96 y 97 de los sistemas Ma-Pb y CB-Pb de soluciones acuosas no ajustan al modelo de Langmuir por tener coeficientes de correlación pobres.

Figura 98 *Isoterma de Langmuir de EP-Pb (II)*



Según los resultados de las figuras 98 del sistema EP-Pb de soluciones acuosas si se ajustan al modelo de Langmuir por tener coeficientes de correlación bueno con un valor de 0,9997.

3.3.7 Modelo matemático de Freundlich

Se pudo graficar con los datos experimentales de las tablas 9.1, 9.2 y 9.3 Cd^{2+} ; y 10.1, 10.2 y 10.3 Pb^{2+} del anexo I las isoterma de adsorción de Freundlich y se determinaron las constantes a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta para los bioadsorbentes en estudio, según la ecuación 13.

3.3.7.1 Modelo matemático de Freundlich para cadmio

Figura 99 *Isoterma de Freundlich de MA-Cd*

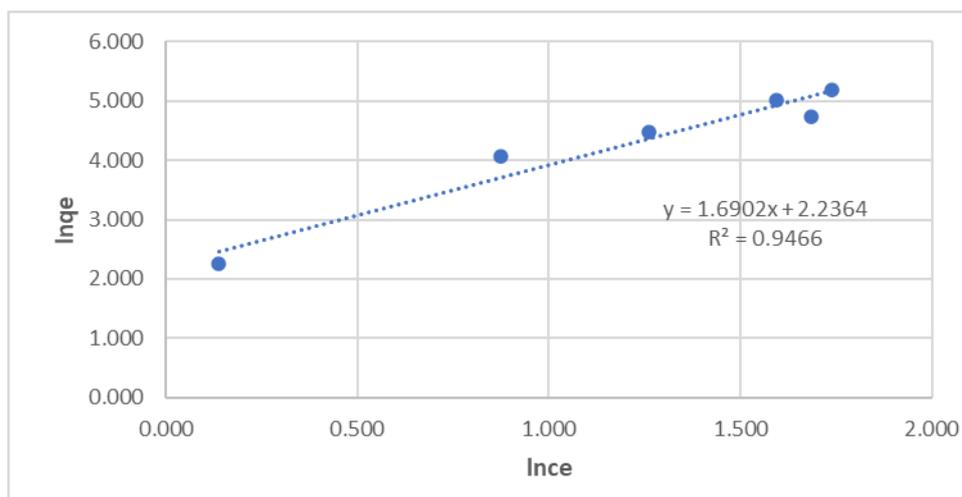
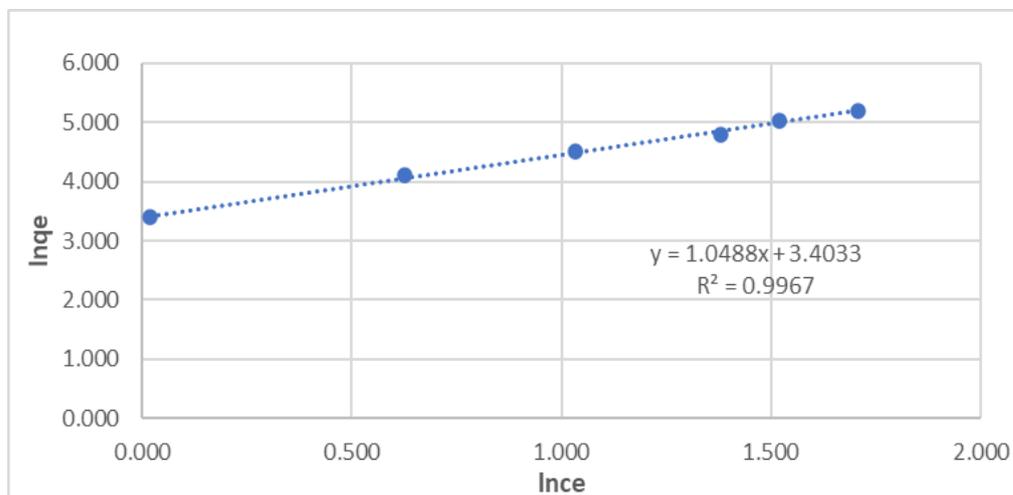
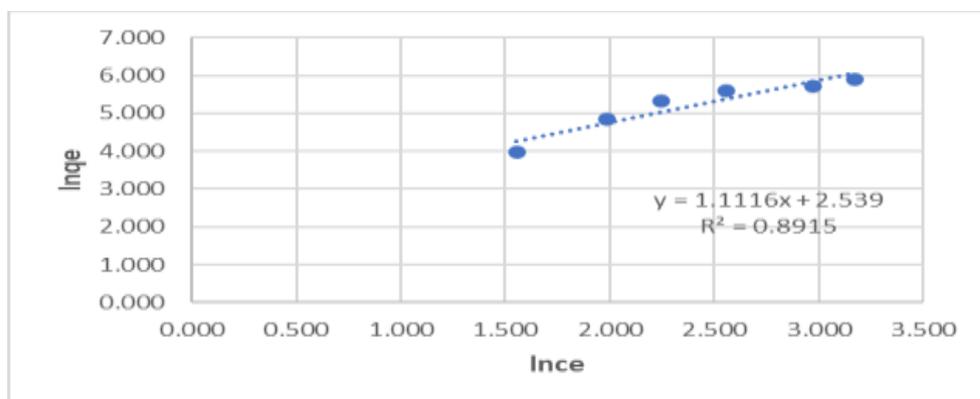


Figura 100 *Isoterma de Freundlich de CB-Cd*



De las figuras 99 y 100 de los sistemas MA-Cd y CB-Cd se ajustan a la isoterma de Freundlich por tener coeficientes de correlación de 0,9466 y 0,9967 respectivamente.

Figura 101 *Isoterma de Freundlich de EP-Cd*



La figura 101 muestra la regresión lineal del modelo de la isoterma de Freundlich con un coeficiente de correlación de 0,8915 bueno para el sistema EP-Cd y se ajusta a esta isoterma.

3.3.7.2 Modelo matemático de Freundlich para Pb (II)

Figura 102 *Isoterma de Freundlich de MA-Pb (II)*

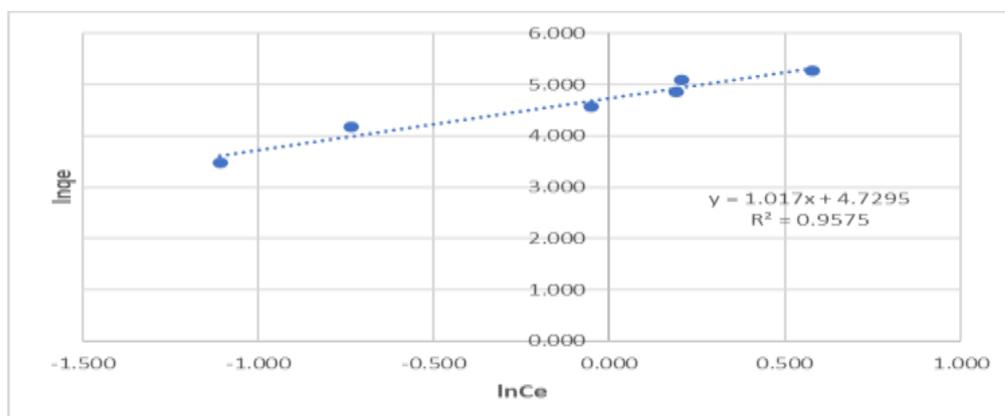
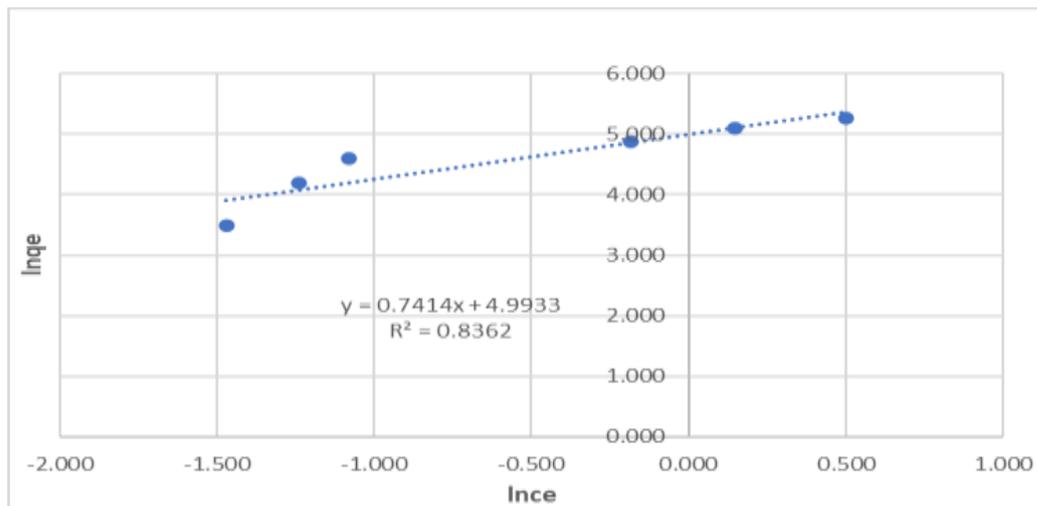
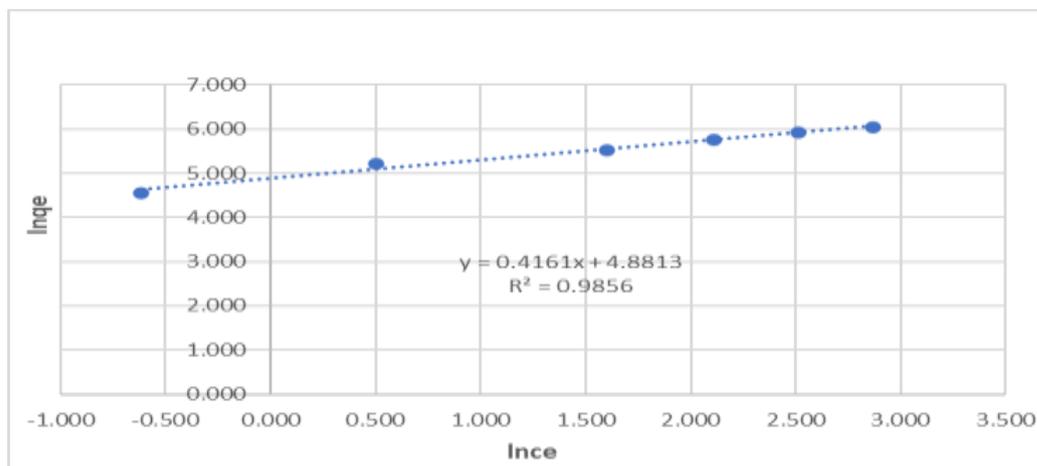


Figura 103 *Isoterma de Freundlich de CB-Pb (II)*



La figura 103 muestra la regresión lineal del modelo de la isoterma de Freundlich con un coeficiente de correlación de 0,8362, bueno para el sistema CB-Pb y se ajusta a esta isoterma.

Figura 104 *Isoterma de Freundlich de EP-Pb (II)*



De las figuras 102 y 103 de los sistemas MA-Pb y EP-Pb se ajustan a la isoterma de Freundlich por tener coeficientes de correlación de 0,9575 y 0,9856 respectivamente; muy bueno según Uluozlu et al, 2008, ajustándose a la isoterma de Freundlich.

Tabla 48 Constantes específicas de los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich para los bioadsorbentes MA, CB y EP

Adsorbente-Metal	Langmuir			
	b(L/mg)	qmax(mg/g)	RL	R ²
MA-Cd	-0,0169	-1428,57	2,02	0,049
CB-Cd	-0,0149	-2000,00	1,77	0,332
EP-Cd	-0,0045	-3333,33	1,15	0,020
MA-Pb (II)	-0,0111	10000,00	1,49	0,002
CB-Pb (II)	0,5581	416,66	0,06	0,542
EP-Pb (II)	0,3134	476,19	0,10	0,978

Adsorbente-Metal	Freundlich		
	KF (mg/g)	n	R ²
MA-Cd	9,36	0,54	0,947
CB-Cd	30,06	0,95	0,997
EP-Cd	12,67	0,90	0,892
MA-Pb (II)	113,24	0,98	0,958
CB-Pb (II)	147,42	1,35	0,836
EP-Pb (II)	131,80	2,40	0,986

Capacidad máxima de adsorción (qmax)mg/g, constante de Langmuir (b)L/mg, factor de separación (RL), constantes de Freundlich (KF, n) y constante de correlación (R²)

Los sistemas son muy complejos para seguir con los parámetros reales; primero considerando la naturaleza heterogénea de los y segundo el comportamiento del adsorbato que varía a ciertas condiciones como el pH.

Los resultados de la tabla 48 muestran que los sistemas EP-Pb se ajustan a la isoterma de Langmuir y la isoterma de Freundlich, a un pH de 4, pero considerando el coeficiente de correlación de 0,986 y el valor de $n > 1$ es mucho más favorable que se ajuste a la isoterma de Freundlich. Los sistemas MA-Pb, CB-Pb también se ajustan a la isoterma de Freundlich; pero no ajustan a la isoterma de Langmuir, por los coeficientes de correlación muy pobres según Uluozlu et al, 2008.

Los sistemas de adsorción de MA-Pb , CB-Pb , a pH 3; los sistemas MA-Cd, CB-Cd, y EP-Cd a pH 6; no ajustan al modelo de Langmuir, concluyendo que se ajustan mejor al modelo de Freundlich con valores de “n” que indican la intensidad de adsorción favorables y valores de R² cercanos a la unidad, asumiendo que el mecanismo

desarrollado de adsorción es de multicapa en una superficie muy heterogénea de los bioadsorbentes existiendo una quimisorción, intercambio iónico corroborado por los resultados de FRX y complejación, considerando al Pb^{2+} y Cd^{2+} como ácidos de Lewis y pueden captar electrones de las bases de Lewis como son los grupos funcionales con carga negativa $(OH)^{-}$, $(COO)^{-}$ y otros aniones presentes de acuerdo a los espectros de FT-IR de los bioadsorbentes puros y después del contacto de los metales de Pb^{2+} y Cd^{2+} .

La capacidad de adsorción de las hojas *Mirabilis jalapa* (chandrakantha) a un pH de 6 para Cd^{2+} y de 4.5 para Pb^{2+} en el tiempo de equilibrio de 120 minutos, ajustaron a las isoterma de Freundlich (Begum y otros, 2015).

Los bioadsorbentes utilizados como, aserrín de coco, cascara de huevo y bagazo de caña de azúcar para eliminar Pb^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} de soluciones acuosas llegaron al equilibrio en 90 minutos y ajustaron a los modelos de Langmuir y Freundlich. Los iones metálicos se unieron a los sitios activos de los biosorbentes a través de un mecanismo de atracción electrostática o con formación de complejos (Putra y otros, 2014).

Romero et al (2022) encontraron que la capacidad de remoción de un helecho *Azolla caroliniana* para Pb^{2+} de aguas sintéticas no ajusta al modelo de Langmuir por los valores de RL mayor a 1, pero se ajusta al modelo de Freundlich con la constante $n = 0,122$ y $R^2=0,9851$ para una concentración de 30ppm de solución acuosa de Pb^{2+} .

Estudios realizados con hojas y tallos de *Eichornia crassipes*, por (Vizcaíno y otros, 2017). Estudios de comparación entre concentraciones iniciales de soluciones acuosas de 10,15,20 y 30 ppm de Pb^{2+} ; concluyen que la capacidad de remoción del helecho *Azolla caroliniana* para plomo (II) ajusta al modelo de Freundlich con la constante $n = 0,122$ y $R^2=0,9851$ (Romero y otros, 2022).

Los resultados de estos investigadores en el proceso de adsorción de bioadsorbentes para los iones de Pb^{2+} y Cd^{2+} de soluciones acuosas son similares obtenidos en esta investigación.

3.4 Resultados estadísticos

Tabla 49 *Contraste de hipótesis de Minthostachys acris (MA)*

Hipótesis nula	Cadmio		Plomo (II)		
	Sig.	Decisión	Hipótesis nula	Sig.	Decisión
La q de MA para Cadmio es la misma entre las categorías de pH	0,00*	Rechaza la hipótesis nula	La q de MA para plomo (II) es la misma entre categorías de pH	0,00*	Rechaza la hipótesis nula
La q de MA para Cadmio es la misma entre las categorías de masa	0,00*	Rechaza la hipótesis nula	La q de MA para plomo (II) es la misma entre categorías de masa	0,00*	Rechaza la hipótesis nula
La q de MA para Cadmio es la misma entre las categorías de tiempo	0,00*	rechaza la hipótesis nula	La q de MA para plomo (II) es la misma entre categorías de tiempo	0,00*	Rechaza la Hipótesis nula

0,00* significativo a nivel de significancia de 0,05, Significancia (Sig.), capacidad de adsorción (q)

Según la tabla 49 la hipótesis nula estadística planteada sobre “la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes de MA para Cd^{2+} y Pb^{2+} de soluciones acuosas es la misma entre las categorías de pH, concentración del bioadsorbente y el tiempo de contacto entre los metales y cada uno de los bioadsorbentes” se rechaza, se encontró $P = 0,000 > \alpha = 0,05$, llegando a la conclusión que si existe diferencias estadísticas significativa.

Tabla 50 *Contraste de hipótesis de Clinopodium bolivianum (CB)*

Hipótesis nula	Cadmio		Plomo (II)		
	Sig.	Decisión	Hipótesis nula	Sig.	Decisión
La q de CB para Cadmio es la misma entre las categorías de pH	0,00*	Rechaza la hipótesis nula	La q de CB para plomo (II) es la misma entre categorías de pH	0,487	Confirma la hipótesis nula
La Q de CB para Cadmio es la misma entre las categorías de masa	0,00*	Rechaza la hipótesis nula	La Q de CB para plomo (II) es la misma entre categorías de masa	0,00*	Rechaza la hipótesis nula
La Q de CB para Cadmio es la misma entre las	0,00*	Rechaza la hipótesis nula	La Q de CB para plomo (II) es la misma entre	0,00*	Rechaza la hipótesis nula

categorias de tiempo	categorias de tiempo
0,00* significativo a nivel de significancia de 0.05, Significancia (Sig.), capacidad de adsorción (q)	

Según la tabla 50 la hipótesis nula estadística planteada sobre “la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes de CB para Cd^{2+} y Pb^{2+} de soluciones acuosas es la misma entre las categorías de pH, concentración del bioadsorbente y el tiempo de contacto entre los metales y cada uno de los bioadsorbentes” se confirma para el sistema CB-Pb en función de la categoría del pH teniendo una significancia de $P = 0.487 > \alpha = 0.05$ y se concluye que no existe diferencia estadística significativa en la capacidad de adsorción de CB. (94,80; 94,33; 94,81; 93,83mg/g), Mientras que los sistemas CB-Cd, rechaza en función de la masa del bioadsorbente, pH de la solución y contacto con el tiempo. El sistema CB-Pb en función de la masa del bioadsorbente y el tiempo de contacto también rechaza la hipótesis nula, se encontró $P = 0,000 > \alpha = 0,05$, llegando a la conclusión que si existe diferencias estadísticas significativa.

Tabla 51 *Contraste hipótesis de estípites de Pleurotus spp cultivado (EP)*

Hipótesis nula	Cadmio		Plomo (II)		Decisión
	Sig.	Decisión	hipótesis nula	Sig.	
La q de EP para cadmio es la misma entre las categorías de pH	0,002	Rechaza la Hipótesis nula	La q de EP para plomo (II) es la misma entre las categorías de pH	0,00*	Rechaza la hipótesis nula
La Q de EP para cadmio es la misma entre las categorías de masa	0,00*	Rechaza la Hipótesis nula	La q de EP para plomo (II) es la misma entre las categorías de masa	0,00*	Rechaza la hipótesis nula
La q de EP para cadmio es la misma entre las categorías de tiempo	0,00*	Rechaza la hipótesis nula	La q de EP para plomo (II) es la misma entre las categorías de tiempo	0,001	Rechaza la hipótesis nula

0* significativo a nivel de significancia de 0,05, Significancia (Sig.), capacidad de adsorción (Q)

Según la tabla 51 la hipótesis nula estadística planteada sobre “la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes de EP para Cd^{2+} y Pb^{2+} de soluciones acuosas es la misma entre

las categorías de pH, concentración del bioadsorbente y el tiempo de contacto entre los metales y cada uno de los bioadsorbentes” se rechaza, se encontró $P = 0,000 > \alpha = 0,05$, llegando a la conclusión que si existe diferencias estadísticas significativa.

En función de masa de los tres bioadsorbentes en estudio tienen una mejor capacidad de adsorción con la menor concentración es decir según aumenta la dosis del bioadsorbente la capacidad de adsorción disminuye.

De los procesos MA- Pb^{2+} con 0,1 g de bioadsorbente y a pH 3, se obtuvo la mayor capacidad de adsorción de 284,60 mg/g, seguido de EP- Pb^{2+} con masa de 0,1 g de bioadsorbente, pH 4, con un valor de 260,30 mg/g y el sistema CB- Pb^{2+} con la masa de 0,3g de bioadsorbente y pH igual a 3 tiene menor capacidad de adsorción de tan solo 95,63 mg/g.

Para los sistemas MA- Cd^{2+} y CB- Cd^{2+} se trabajaron con 0,3g del bioadsorbente y para el sistema de EP- Cd^{2+} con 0,1 g de bioadsorbente. La mayor capacidad de adsorción de Cd^{2+} fue con EP obteniéndose un valor de 170,89mg/g, luego es para CB con 93,22mg/g, y de 92,53 mg/g para MA siendo la menor capacidad de adsorción.

Estudios realizados con tres cepas del micelio del hongo *Pleurotus spp* para la biosorción de Cd^{2+} y Cu^{2+} se encontró diferencia estadística significativa, $P=0,000 < \alpha = 0,05$, rechazando la hipótesis nula (Marín y otros, 2015).

Estudios realizados por Vallejo (2021) en la biomasa de *Pleurotus spp* aplicaron un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, evaluaron el efecto de las variables independientes: concentración de los metales Pb^{2+} , Cr^{3+} y Cd^{2+} porcentaje de retención, tiempo de contacto y crecimiento de las cepas del micelio. Los resultados se analizaron mediante la prueba de varianza (Anova) y una prueba de medias Tukey ($p \leq 0,05$) con el software R-comandé. Encontraron que la biosorción fue más eficiente de 75% para plomo, 42% para Cr y de 2,25% para Cadmio. existiendo diferencia significativa con el tiempo de contacto y capacidad de adsorción de soluciones acuosas.

Silva (2022), estudió la capacidad de adsorción de *Saccharomyces cerevisiae* para metales pesados As^{3+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} y Pb^{2+} aplicó la prueba de Kruskal Wallis, Para hacer comparaciones con cada tratamiento colocando el valor de $P < 0,05$, trabajo con

tres categorías uno de ellos el pH, y encontró diferencia estadística, también encontró la afinidad de biosorción de la siguiente manera: Hg>Zn>Pb>Cd>Co>Ni>Cu.

Los estudios realizados utilizando (0,5;1,2g/L), de *Opuntia* para determinar la capacidad de adsorción de cadmio de soluciones acuosas al analizar la varianza (ANOVA), encontraron diferencias con significación estadística entre las distintas concentraciones empleadas concluyendo que la mejor capacidad de adsorción se obtuvo con 0,5g/L y 50ppm de concentración inicial del metal (Rosique, 2013).

Los resultados de este estudio y los resultados obtenidos por los autores mencionados evidencia que son diversos los factores que influyen sobre el proceso de bioadsorción de metales (Hodelin y otros, 2022).

3.5. Pruebas de adsorción del agua residual

3.5.1 Caracterización del agua residual

Los resultados de la caracterización de la muestra real se muestran en la tabla 53

Tabla 52 Resultados de la caracterización de la muestra del agua real

Pruebas	Unidades	Resultados	DS-N°010-2019-Vivienda VMA
Solidos totales en suspensión (SST)	mg/L	400	500
pH	unidades de pH	2	6-9
Temperatura	°C	14	<35
Plomo	mg/L	6,94	0,5
Cadmio	mg/L	4,37	0,2

De acuerdo a la tabla 53 se observa que el agua residual del laboratorio de cromatografía y espectroscopía no cumple con los parámetros de pH, como también concentración de Pb^{2+} y Cd^{2+} según el DS N°010-2019-vivienda VMA, lo que indica que esta agua debe ser tratada antes de ser descargada. Los parámetros de solidos totales en suspensión (SST) y temperatura si cumplen según el DS N°010-2019-vivienda VMA.

3.5.2 Proceso de bioadsorción de *Mintosthachys acris* (MA), *Clinopodium bolivianum* y estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP) para plomo (II) y Cd en muestra del agua real

El proceso de bioadsorción se realiza con el agua residual del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, considerando los parámetros óptimos para cada metal y bioadsorbente. La muestra real tiene un pH de 2, y para llegar al pH óptimo del Pb^{2+} y Cd^{2+} se realizó con soluciones 0,1M de ácido nítrico e hidróxido de sodio. Se determina la capacidad de adsorción utilizando la ecuación 1, y el porcentaje de eficiencia (%A) utilizando la ecuación 2. Los resultados del primer y segundo tratamiento se muestran en las tablas 34 y 35 respectivamente.

Tabla 53 Resultados de la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes y el %A para Pb (II) y Cd de la muestra de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (primer tratamiento)

Parámetros		Pb (II)					
Constantes	Bio-adsorbente	m(g/L)	pH	Ci(mg/L)	Cf(mg/L)	q(mg/g)	%A
V= 50ml T=13°C t= 60min rpm =150	MA	0,3	3		0,72	20,73	89,62
	CB	0,3	3	6,94	0,98	19,86	85,87
	EP	0,3	4		4,36	8,60	37,17
		Cd					
Constantes	Bio-adsorbente	m(g/L)	pH	Ci(mg/L)	Cf(mg/L)	q(mg/g)	%A
	MA	0,3	6		2,01	7,86	54,00
	CB	0,3	6	4,37	2,56	6,00	41,91
	EP	0,3	6		3,46	9,10	20,70

Según la tabla 53 el agua residual la concentración inicial de Pb^{2+} fue 6,94 y para Cd^{2+} 4,37 ppm. Para el primer tratamiento la masa de cada bioadsorbente fue de 0,3 g, el volumen de muestra de 50mL y el tiempo de contacto de 60 minutos. En estas condiciones experimentales el Pb^{2+} llegó a una concentración final de 0,98; 0,72 y 4,36 ppm para MA, CB y EP respectivamente. Las concentraciones finales para Cd fueron de 2,01; 2,56 y 3,46 ppm para MA, CB y EP respectivamente. Se puede observar que los bioadsorbentes MA, CB y EP tienen buena capacidad de adsorción y buen %A para el Pb^{2+} frente al Cd^{2+} .

Tabla 54 Resultados de la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes y el %A para Pb (II) y Cd de la muestra de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad nacional San Antonio Abad del Cusco (segundo tratamiento)

Parámetros				Pb (II)			
Constantes	Bio-adsorbente	m(g/L)	pH	Ci(mg/L)	Cf(mg/L)	q(mg/g)	%A
V= 50ml T=13°C	MA	0.3	3	6.94	0,089	22,83	90,91
	CB	0.3	3		0,045	22,98	93,75
	EP	0.3	4		1,98	16,53	54,58
				Cd			
t= 60min rpm =150	Bio-adsorbente	m(g/L)	pH	Ci(mg/L)	Cf(mg/L)	q(mg/g)	%A
	MA	0.3	6	4.37	0,85	11,73	57,71
	CB	0.3	6		1,13	10,8	55,85
	EP	0.3	6		2,2	7,23	36,41

La tabla 54 muestra resultados del agua residual después de un segundo tratamiento, se trabaja con las muestras del primer tratamiento. Cada elemento se evaluó con 0.3g de cada bioadsorbente, 50mL de volumen de agua residual y agitación de 60 minutos. Los resultados de la capacidad de adsorción y el %A fueron mejores; llegando a la concentración final de Pb^{2+} de 0,089; 0,045 y 1,95 ppm con MA, CB y EP respectivamente; no así para el Cd que llegó a la concentración final de 0,85; 1,13 y 2.2 ppm con MA, CB y EP respectivamente. El % de remoción para Pb (II) de 90,91; 93,75 y 54,58 para MA, CB y EP respectivamente. Para el caso del Cd^{2+} los % de remoción fueron de 57,71; 55,85 y 36,41 para MA, CB y EP respectivamente.

Estos resultados del segundo tratamiento son óptimos para los bioadsorbentes MA y CB donde la concentración final para el Pb^{2+} cumple con los valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de agua residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario (0,5ppm para Pb^{2+}). Según los resultados obtenidos podemos indicar que los bioadsorbentes utilizados en esta investigación pueden ser utilizados para tratamientos de aguas residuales para el Pb^{2+} y Cd^{2+} .

Tabla 55 Porcentaje de remoción de los bioadsorbentes para *Pb (II)* y *Cd* de soluciones acuosas y de aguas residuales del laboratorio de cromatografía y espectroscopia de la universidad San Antonio Abad del Cusco.

Parámetros constantes	Bio adsorbente	%A					
		Soluciones acuosas		Aguas residuales			
				Primer tratamiento	Segundo tratamiento		
V = 50mL		Pb (II)	Cd	Pb (II)	Cd	Pb (II)	Cd
T= 13°C	MA	93,90	91,03	85,58	54,00	90,91	57,71
t= 60min	CB	95,67	93,60	89,62	41,91	93,75	55,85
rpm =150	EP	86,77	54,97	37,17	20,70	54,58	36,41

Los resultados de la tabla 55 muestra la comparación de los porcentajes de remoción de Pb^{2+} y Cd^{2+} de las soluciones acuosas y el agua residual del laboratorio químico de servicios de espectroscopia y cromatografía de la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco, donde se puede observar que, el % de remoción de Pb^{2+} tiene una pequeña disminución para MA y CB, pero para EP si tuvo una disminución sustancial. Para el caso del % de remoción de Cd^{2+} , frente a las soluciones acuosas la diferencia es bastante notable.

Tabla 56 Porcentaje de remoción de los bioadsorbentes MA, CB y EP en comparación con otros bioadsorbentes

Bioadsorbente	%A				Referencia
	Soluciones acuosas		Aguas residuales		
	Pb (II)	Cd	Pb (II)	Cd	
MA	94,00	93,00	90,91	57,71	Este estudio
CB	96,00	91,00	93,75	55,85	Este estudio
EP	70,00	50,00	54,58	36,41	Este estudio
Moringa Olifera	97,00	95,60	10,77	16,28	Lagos A. 2017
Carbón activado	99,77		78,41		Lavado C. et al., (2017)
Cascara/pomelo		68,28		16,32	Rebollo S. 2012,
Hojas de maíz			60,00	59,00	S. Astudillo et al,2020
cascara /naranja				84,00	Ramírez B. 2016

Según, los resultados de la tabla 56 se observa que los bioadsorbentes MA, CB tienen un alto porcentaje de remoción de Pb^{2+} en aguas residuales frente a la cascara de naranja, de pomelo, hoja de maíz, polvo de Moringa oleífera y carbón activado. EP tiene un menor porcentaje de remoción de Pb^{2+} frente a las adsorbentes hojas de maíz y carbón activado. Para la adsorción de Cd^{2+} de aguas residuales la hoja de maíz y la cascara de naranja tienen mayor % de remoción que los biosorbentes en estudio. La cascara de pomelo y el carbón activado tienen una mínima remoción de Cd^{2+} frente a los demás adsorbentes.

Estudios realizados con *Pennisetum clandestinum Hochst* (kikuyo), para determinar la capacidad adsorción de Cr^{3+} de aguas simuladas en el laboratorio, se obtuvo una capacidad de adsorción de 47,9 mg/g. En aguas residuales de la industria peletera de la ciudad del Cusco la concentración inicial de Cr^{3+} fue de 30 mg/L y la final de 11,2mg/L donde se obtuvo una remoción del 62,69% y una capacidad de adsorción de 37,6mg/g (Vargas, 2022).

Investigación realizada en la evaluación de la capacidad de adsorción con hojas de maíz para la remoción de plomo y cadmio de aguas residuales de un laboratorio químico, encontraron que la concentración inicial fue de 7,05mg/L y 0,21mg/L para Pb^{2+} y Cd^{2+} respectivamente. Trabajaron con un volumen de muestra del efluente de 50mL, pH 4 y con 1 g de biosorbente, y tiempo de agitación 30 minutos. Obteniéndose un 60% y 59% de remoción para Pb^{2+} y Cd^{2+} respectivamente (Astudillo y otros, 2020).

La eficiencia del % de remoción es afectado muchas veces por la presencia de otros metales como hierro y níquel, obteniéndose un % de remoción de 16,28 para Cd^{2+} . y 10,77 para Pb^{2+} , que en soluciones acuosas obtuvo 95,6 para Cd^{2+} . y 97% para Pb^{2+} (Estrella, 2017).

Lavado et al. (2010) determino el % de remoción para Pb^{2+} en soluciones acuosas con carbón obteniéndose 99,70% de remoción y qe de 29.88mg/g; y de aguas industriales que contienen K^{1+} , Ca^{2+} ; obtuvo 78,41%, y qe 23,52mg/g. el trabajo se valuó a un pH de 5 y 3 horas de contacto y temperatura ambiente.

En estudios realizados para la remoción de Cd^{2+} , Cu^{2+} y Mn^{2+} con cascara de naranja (*Citrus sinensis*) de las aguas de la laguna Colquicocha, de la provincia de Oyon, se obtuvo al 84% de remoción para Cd (Ramírez, 2016).

En la investigación para la eliminación de Cd^{2+} de efluentes urbanos utilizando cascara de *Citrus paradisi* (pomelo) se concluye que la capacidad de adsorción disminuye fuertemente en la presencia de otros iones metálicos como: Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} y Na^{1+} . De soluciones acuosas con cascara de pomelo la remoción fue de 68,28% y en las muestras reales fue de 16,32% (Rebollo, 2012).

Algunas de las cepas de biomasa fúngica remueven eficientemente Cd^{2+} en solución acuosa a pH 5 y 6. Concluyen que las cepas silvestres de *Mucor rouxii*, *Mucor rouxii* mutante, *Aspergillus flavus-I*, *Helminthosporium sp*, *Criotococcus neoformans* y *Aspergillus fumigatus* II pueden utilizarse solas o mezcladas, para eliminar el ion Cd^{2+} presente en aguas residuales industriales (Acosta y otros, 2007).

Finalmente, de acuerdo a las revisiones citadas la mayoría de los bioadsorbentes disminuyen el % de remoción en aguas residuales para el Pb^{2+} y Cd^{2+} . En este estudio el % de remoción los bioadsorbentes MA y CB tienen una pequeña variación de 94% en solución acuosa a 90,41 con MA; y de 96 a 93,75% con CB para Pb^{2+} en el agua residual. En el caso de Cd^{2+} existe disminución, pero no es considerable, podemos indicar como una alternativa los tres bioadsorbentes para remoción de Pb^{2+} y Cd^{2+} en efluentes contaminados.

CONCLUSIONES

1. Se preparó tres bioadsorbentes de *Mintosthachys acris* (MA) *Clinopodium bolivianum* (CB) y estípites de *Pleurotus spp* (EP), biomateriales de desecho. Los análisis FT-IR evidencia los grupos hidroxilo, carboxilo, carbonilo y amina responsables de las posibles interacciones con los iones de Pb^{2+} y Cd^{2+} . Los resultados de espectros de FRX de los bioadsorbentes antes y después del proceso de adsorción, determinan que existe intercambio iónico.

2. La capacidad de adsorción fue mayor a dosis menores de MA, CB y EP. Masa óptima de 0.1g/L (MA y EP); y de 0.3g/L (CB) para Pb^{2+} . En el caso de Cd^{2+} 0.3g/L(MA) y de 0.1g/L (CB y EP)

3. El pH óptimo del ion Cd^{2+} fue de 6 (MA, EP y CB). El pH óptimo para el ion Pb^{2+} fue de 4(EP), y de 3 (MA y CB). La capacidad de adsorción de Pb^{2+} fue mayor para MA y EP con 284.60 mg/g y 260.30mg/g respectivamente, y un valor de 95.63 mg/g para CB. La capacidad de adsorción de los tres bioadsorbentes fue menor para Cd^{2+}

Los adsorbentes MA, CB y EP para los Pb^{2+} y Cd^{2+} se ajustaron mejor al modelo cinético pseudo segundo orden y la isoterma de Freundlich.

Aplicando la prueba Kruskal Wallis, la hipótesis nula planteada para la capacidad de adsorción, se rechaza; existiendo diferencia estadística significativa para las categorías dosis del bioadsorbente, pH y tiempo de contacto.

4. Los resultados de los bioadsorbentes MA y CB determinan como una alternativa para tratamientos de aguas residuales con Pb^{2+} y Cd^{2+} . La concentración final de 0.089ppm con MA y 0.045 ppm con CB para el Pb^{2+} cumple con el DS N°021-2009-VIVIENDA,2009. EP no muestra efectividad esperada en la remoción de los metales Pb^{2+} y Cd^{2+} .

RECOMENDACIONES

Existe una gran demanda del recurso agua en estos últimos años por el crecimiento de la población, la contaminación también va en aumento, nos encontramos en una incertidumbre mundial para cubrir con las necesidades de cumplir que “toda persona tiene el derecho al agua segura en cantidad suficiente para cubrir sus necesidades primordiales”, en este contexto, se recomienda:

1. Seguir con los estudios para mejorar la capacidad de adsorción de MA, CB y EP en aguas residuales Pb^{2+} y Cd^{2+} , probando y evaluando el método continuo de Bach para lograr mejores resultados.
2. Probar la capacidad de adsorción de estos bioadsorbentes para plomo, cadmio y otros metales para realizar proyectos de investigación orientadas a la desorción de los iones metálicos de estos biomateriales ya contaminados y su posible reutilización con el propósito de conseguir que el proyecto sea sostenible y amigable al medio ambiente.
3. Buscar y probar otros biomateriales para estos propósitos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustiono Kurniawan, T., Y S Chan, G., & Sandhya Babel. (2006). Physico-Chemical Treatment Techniques for Wastewater Laden with Heavy Metals.
- Aguilar , M. A., Marín Castro, M. A., Ramos Cassellis, M. E., Silva Gómez, S. E., Ibarra Cantún, D., & Tamariz Flores , J. V. (Marzo de 2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* , 2(275-289), 275-298. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2687>
- Stone. (2009). Chemistry, biochemistry and biology of (1,3)- β -Glucans and related polysaccharides. Ed. Academic Press. ISBN:978-0-12-373971-1. .
- Abdel, N. T., & El, G. A. (2014). Biosorción para la eliminación de iones metálicos de soluciones acuosas: una revisión de estudios recientes. *Última resolución. Ciencia. Technol*, 3(1), 24-42.
- Plette, M. B. (1996). Unión competitiva de protones, calcio, cadmio y zinc a paredes celulares aisladas de una bacteria del suelo Gram-positiva. *Ciencia y tecnología ambiental*, 30.
- Acosta, I., Moctezuma, M., Cárdenas, J., & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción de cadmio (II) en solución acuosa por biomazas fúngicas. . *Información tecnológica* , 18 (1), 09-14 .

Adrián, Q., Soledad, A. K., Luis, Y. V., Ivan, R. L., & Palomino, P. (2015). *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL Volumen No. 1 Primera Edición 2019 Editorial EIDEC*
ISBN: 978-958-52030-9-9 Fecha Publicación: 2019-12-18
comiteeditorial@editorialeidec.com www.editorial.com

Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer. (s.f.). *Ministerio de derechos sociales, consumo y agenda 2030*. Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer: <https://www.consumo.gob.es/es/consumo/informacion>

Agencia para sustancias toxicas Y el registro de enfermedades ATSDR. (s.f.).
<http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>

Aghababai. (s.f.).

Aguayo, I. A., Bonilla, A., Hernández, V., Montes, M. A., & Reynel, H. E. (2011).
Estudios por lotes y en columnas de eliminación de Zn^{2+} de una solución acuosa utilizando plumas de pollo como sorbentes. . *Revista de ingeniería química* , 167(1), 67-76 .

Akar, T., Cabuk, A., Tunali, S., & Yamac, M. (2006). Biosorption potencial of thr *Macrofungus Ganodema carnosum* for removal of lead (II) ions from aqueous solutions. *Journal of Environmental Science and Health*, 41 , 2587-2606.

Ali Aghababai, B., & Akbar, E. (2020). Biosorción, Biosorción, Un método eficiente para eliminar metales pesados de efluentes industriales: una revisión. *ScienceDirect*, 17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100503>

Allard, B., Hakansson, K., & Karlsson. (2008). *La importancia de los fenómenos de sorción en relación con la especiación y movilidad de oligoelementos. Apuntes de conferencias sobre ciencias de la tierra.*

Amnistia internacional . (Mayo de 2021). Perú: Nueva evidencia confirma crisis de salud por metales tóxicos en Espinar.

<https://www.amnesty.org/es/latest/news/2021/05/peru-crisis-de-salud-metales-toxicos-espinar/>

Arias Rodríguez, S., & Mancipe Calderón, N. G. (2020). *Remoción de mercurio y plomo contenido en efluentes de agua por el pleurotus ostreatus inmovilizado en diferentes materiales*. Tesis pregrado , Universidad de los Andes Colombia , Colombia .

Asnaoui, Laaziri, & Khalis. (2015). Study of the kinetics and the adsorption isotherm of cadmium(II) from aqueous solution using green algae (*Ulva lactuca*) biomass. *Journal of the International Association on Water Pollution Researc*, 1505-1515. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.359>

Astudillo, S., Vera, L., Astudillo, J., & Castro, C. (2020). Evaluación del poder biosorbente de la hoja de maíz en la remoción de metales pesados. *Afinidad* , 77, 591.

Barka, N., Abdennouri , M., Makhfouk , M., & Qourza , S. (2013). Biosorption characteristics of cadmium and lead onto eco-friendly dried cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes. . *Journal of Environmental Chemical Engineering* , 1, 144-149 .

Barquilha, R. C., Eneida, C., Granhen Tavares, C. R., & Edson, d. S. (Julio de 2019). Biosorption of nickel(II) and copper(II) ions from synthetic and real effluents by alginate-based biosorbent produced from seaweed *Sargassum* sp. *Environmental science and pollution research international* . 11100-11112.

- Baysal, Z., Cinar, E. B., Alkan, H., & Dogru, M. (2009). Equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of Pb(II) onto *Candida albicans* biomass. *Journal of Hazardous Materials*.
- Beaty, & Kerber. (1993). *Concepts Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry*, Perkin-Elmer Corporation,.
- Begum, S., Tharakeswar, Y., Kalyan, Y., & Naidu, G. (2015). Biosorción de Cd (II), Cr (VI) y Pb (II) a partir de solución acuosa utilizando *Mirabilis jalapa* como adsorbente. . *Revista de Ciencias de Encapsulación y Adsorción* , 5(2), 93.
- Beltrán Suito, R. (2015). *Aplicacion de un diseño experimental factorial en el estudio de la absorcion de fenol y nitrofenoles con nanofibras de carbono*. Pontificia universidad catolica del peru , Lima .
- Boparai, H. K., Joseph, M., & O'Carroll, D. M. (2011). Cinética y termodinámica de la eliminación de iones cadmio mediante adsorción en partículas de hierro nanovalentes. . *Revista de materiales peligrosos*, 186(1), 458-465. https://doi.org/https://www.eng.uwo.ca/grc/pdfs/2011/Boparai_et_al_Kinetics.pdf
- Cabrera Choccata, D. Y. (2018). *Evaluación de la Capacidad de Biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Arequipa: Universidad San Agustín de Arequipa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ec3d725e-9088-4207-8882-3957013d8b01/content>

- Cano, C., Bonilla, P., Roque, M., & Ruiz. (2008). Actividad antimicótica in vitro y metabolitos del aceite esencial de las hojas de *Minthostachys mollis* (muña). *Rev Perú Med Exp Salud Pública*.
- Castro, S., Cerda, R., Betanco, N., Canelo, F., López, X., García, A., & Benavente, M. (2013). Estudio del equilibrio y cinética de adsorción de Cd (II), Ni (II) y Cr (VI) usando Quitosano y Quitosano modificado con cobre. . *Nexo revista científica* , 26(2), 56-68.
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *13*.
- Chávez-Sifontes, & Domine. (2013). LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 15-46.
- Chirinos, R., Huamán, M., Betalleluz-Pallardel, Pedreschi, R., & Campos, D. (2011). *Caracterización de compuestos fenólicos de hojas de muña inca (Clinopodium bolivianum) y la factibilidad de su aplicación para mejorar la estabilidad oxidativa del ace.*
- Chuquilín, R., & Rosales, D. (2016). Estudio de la biosorción de Cd (II) Y Pb (II) usando como adsorbente *Nostoc sphaericum* Vaucher. *Revista de la sociedad química del Perú*, 82(1), 49-60.
https://doi.org/http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2016000100006&script=sci_arttext&tlng=pt

- Cuizano, N., Reyes, U., Dominguez, S., Llanos, B., & Navarro, A. (2010). Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas . *Revista de la Sociedad Química del Perú* , 72(2), 123-130.
- Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. (2009). Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
- ATSDR. (2007). Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)2007” Resumen de salud Pública-Pb”.
- Diniz, V., Weber, M., Volesky, B., & Naja, G. (2008). *Biosorción en columna de lantano y europio por sargazo. Investigación del agua.*, 363-371.
- DIRESA . (2013). Análisis de la Situación de Salud: Cusco 2013. 1ra edición. Cusco, Dirección Regional de Salud Cusco 2013.
- Eduardo, C. M. (Enero de 2008). Estudio de la absorcion de cromo hexavalente utilizando como biomaterial la ectodermis de opuntia .
- Eliescu, A., Georgescu, A. A., Nicolescu, C. M., Marios BUmbac, N. C., Mureseanu, M., & Burruleaanu, L. C. (2020). Biosorption of Pb (II) from Aqueous Solution Using Mushroom (Pleurotus ostreatus) Biomass. <https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1740722>
- Enniya, I., Rghioui, L., & Jourani, A. (2018). *Adsorción deCromo hexavalente en solución acuosa sobre activado.carbón preparado a partir de cáscaras de manzana. Química Sostenibley farmacia.*
- EPA . (2023). eglamento de Agua Potable Primaria según la agencia de protección del medioambiente .

- Erostegui, Oporto, C., Zalles, L., Sevilla, R., & Romero, A. M. (2020). Evaluation of kidney damage by cadmium in a population exposed to its contamination in farmers from Quila-Quila, Potosí. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*.
- Estrella, A. (2017). *Adsorción de cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando Moringa oleifera Lam.*. Universidad San Francisco de Quito.
- Eugenia, P. T., Paúl, P. F., & Fernando, R. V. (2010). Cinética de la Bioadsorción de iones cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual de café.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1984). *Madera: química, ultraestructura, reacciones*. Walter de Gruyter, 613, 1960-1982.
- Fernández, G. (2014). *Química orgánica*. Germán Fernández. https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58658804/libro_base_de_clase_-libre.pdf?1553054330=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQUIMICA_ORGANICA_NOMENCLATURA_ORGANICA_G.pdf&Expires=1718997464&Signature=D-vm0Aw0QE~LzQN~KFskqrl2r-QMWij19H8Gk810u
- Fernández Bernaola, U. R. (2015). Adsorción de plomo de aguas contaminadas usando el cactus gigantón (*Trichocereus cuzcoensis*). https://www.researchgate.net/publication/344371691_Adsorcion_de_Plomo_de_Aguas_Contaminadas_USando_el_Cactus_Trichocereus_cuzcoensis
- Fernández, C., Fárez, A., Roblez, C., Hernández, M., Galván, S. M., & Rubio, C. (2018). Composición química y actividad antimicrobiana del extracto etanólico de las partes aéreas de *Minthostachys mollis* Griseb.

- Fernandez, U. R., & Maldonado, A. R. (2020). Adsorción de plomo de aguas contaminadas usando el cactus *Trichocereus cuzcoensis*. . *LACCEI* .
https://doi.org/http://axces.info/handle/10.18687/20200101_295
- Forster, C. F., & Wase, D. A. (1997). *Biosorción de metales pesados: una introducción. Biosorbentes para iones metálicos* , 1. Taylor&Francis .
[https://doi.org/https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xlTBhuYbkC0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Forster,+C.F.,+Wase,+D.A.J.\(1997\)+%22Biosorbent+for+Metal+Ions,+%22Biosorption+of+Heavy+Metals:+An+Introduction%22.+Taylor+%26+Francis+Ltd,+Great+Britain.+1997.+p.+1-10.+ISBN:+074840](https://doi.org/https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xlTBhuYbkC0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Forster,+C.F.,+Wase,+D.A.J.(1997)+%22Biosorbent+for+Metal+Ions,+%22Biosorption+of+Heavy+Metals:+An+Introduction%22.+Taylor+%26+Francis+Ltd,+Great+Britain.+1997.+p.+1-10.+ISBN:+074840)
- Gañan, P. (2017). Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro. *Revista Colombiana de Materiales*, 11, 1-4.
https://doi.org/file:///C:/Users/usuario/Downloads/locampoayala,+328779-Texto+del+art_culo-131215-1-10-20170828_compressed.pdf
- Gañán, P., Zuluaga, R., Castro, C., Restrepo-Osorio, Velásquez Cock, J., Osorio, M., Montoya, Ú., Vélez, L., Álvarez, C., Correa, & Molina. (2017). Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro. 1-4.
- García Fernández, A., & Navas Ruiz, I. (2019). *Riesgos tóxicos de la munición de plomo y alternativas para la actividad cinegética* .
- García Peña, A., Rimaycuna, J., Herrera, Bermejo, L., & Cruz, G. (2022). *Correlación entre la concentración de metales pesados en el agua de consumo y la concentración de los mismos del agua superficial del río Tumbes, Perú. Manglar. Tumbes* .

- García, A. J. (2021). *Determinación de la capacidad de bioadsorción de metales pesados mediante el uso de la cáscara de maracuyá (Passiflora edulis) en aguas contaminadas*. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- Gellerstedt, G., Henriksson, G., & Lignins. (2008). Major sources, structure and properties., En M. Naceur Belgacem, & A. Gandini (Edits.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, Amsterdam. *Elsevier B.V.*, 201-224.
- Georgescu, A. A., Nicolescu, C. M., Bumbac, M., & Eliescu, A. (Marzo de 2020). *Biosorption of Pb(II) from Aqueous Solution Using Mushroom (Pleurotus ostreatus) Biomass and Spent Mushroom Substrate*.
- Gil Hurtado, F. E. (2020). *Evaluación de la Fitorremediación con Sesuvium portulacastrum para la Extracción de Metales Pesados de un Relave Minero Proveniente de una Operación Minera y de Suelos y Aguas Contaminadas Artificialmente con Metales Pesados*. Universidad catolica , Lima .
- Giles, H., D'Silva, A., & Easton, I. (1974). A general Treatment Classification of Solute Adsorption Isotherm, Part II, Experimental Interpretation. *Journal of Colloid and Interface Science*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 3-11.
- González Balaguer, D. A., & Rojas Farías, W. A. (2008). *Relación entre la exposición crónica ocupacional al plomo y efectos neurocomportamentales revisión documental*. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Enfermería-Facultad de Medicina. Bogotá D.C. Colombia-Bogota.
- Goyer, R. A. (1997). Toxic and essential metal interactions. *Annual Review of Nutrition*. 37-50.

- Greene, B., Henzl, M., Hosea, J., & Darnall, D. (1986). (85)Greene, B., Henzl, M., Hosea, J. & Darnall, D. (1986). *Elimination of Bicarbonate Intederence in the Binding of U(VI) in Mill-Waters to Freeze-dried Chlorella vulgaris. Biotechnology and Bioengineering, 18, 764-767. DOI:10.1002/bit.260280519.* Biotechnology.
- Greenpeace. (2010). *Respuesta al Informe Anual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos aires(GCABA). Ley 1.854. Año 2008S, Campaña de Tóxicos.* Buenos Aires.
- Gu, J., & Liang, J. (2020). Treatment of real deplating wastewater through an environmental friendly precipitation-electrodepositionoxidation process: Recovery of silver and copper and reuse of wastewater.
- Guevara, R. E. (2021). *Estado de saludo Fallido-emergencia de salud en pueblos indígenas de Espinar -Perú índice AMR4613829/2021/Amnistía Internacional.*
- Gupta, V. K., Rastogi, A., & Nayak, A. (2010). Application of isotherm and kinetic models. *Journal of Colloid and Interface Scienc.*
- Gutierrez Miranda, D. D., & Zapata Morante, A. A. (2022). *Análisis de la capacidad de fitorremediación de las especies macrófitas: Eichhornia crassipes, Lemna minor, Typha latifolia, Phragmites australis y Scirpus californicus en el tratamiento de efluentes con metales pesados, 2022.* Tesis pre grado , Universidad privada del norte .
- Gutiérrez, S. M. (2015). *Estudio de la bioadsorcion de carmio y plomo con biomasa de serratia marcescens M8a-2T.* Lima, Peru: Universidad Nacional Mayor de San Marco. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4126>

- Guyo, U., Mhonyera, J., & Moyo, M. (2015). Pb (II) adsorption from aqueous solutions by raw and treated biomass of maize stover—a comparative study. . *Process Safety and Environmental Protection* , 93 , 192-200.v.
- Guzmán Huamán, M. O. (2019). *Factores de riesgo asociados por exposición a metales pesados en personas evaluadas del distrito de Pallpata*, . Tesis pre grado, Cusco , Espinar .
- H. Romero-Bonilla, J. C. (Junio de 2011). Comparación de modelos cinéticos isotérmicos durante la adsorción de plomo mediante Azolla caroliniana” Ingeniería Industrial.
- Hernández Gómez, R. C., Garzón Gutiérrez, J., La Rotta La Rotta, M., & Guerra Rodríguez, J. (Enero de 2018). Evaluación de la capacidad de bioadsorción de plomo (ii) presente en afluentes sintéticos, utilizando bioadsorventes de origen vegetal. *12(1)*. <https://doi.org/10.22490/25394088.2829>
- Hlihor, R., Bulgariu, L., Tavares, T., Maria, G., & Sobariu, D. L. (2014). Recent advances in biosorption of heavy metals: Support tools for biosorption equilibrium, kinetics and mechanism *Revue Roumaine de Chimie* . 527-538.
- Ho. (2004). Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions. *Scientometrics*, 171-177.
- Ho, & McKay. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. . *Process biochemistry* , 451-465.
- Hodelin, R., Bessy, T., Calzado, O., & Pérez, R. (2022). Adsorción de cromo (VI) y plomo (II) sobre biomasa seca de *Kluyveromyces marxianus* CCEBI 2011. . *Revista Cubana de Química* , 34(1), 111-130 .

- Holgado Rojas, M. E., Aranzbal Carrasco, R. L., Ruth, L. L., & Quispe Pelaez, A. (2010). *Cultivo de Pleurotus y Lentinula Edodes bajo condiciones artesanales en comunidades campesinas de la region de Cusco*. Cusco.
- Hubbe. (2019). Adsorption rates review Bioresources. *Second- Order Adsorption Kinetics onto Cellulosic materials : A Review*.
- Huquilin Goicochea, R. C. (2016). Estudio de la biosorción de Cd (II) Y Pb (II) usando como adsorbente Nostoc sphaericum Vaucher. *Perú [online]. 2016, vol.82, n.1, pp.49-60. ISSN 1810-634X*.
- Inés, d. l., Alomá, V., Blázquez, G., GarcíaI, Calerode-HocesII, .., Martín-LaraII, M. Á., & Ronda-GálvezII, I. L. (2013). Panorama general en torno a la contaminación del agua por níquel.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico . (2013). *Informe integrado de monitoreo sanitario y ambiental participativo de la provincia de Espinar. Informe complementario II*. Cusco.
- International Programme on Chemical Safety. (2020). Ten chemicals of major public health concern. [http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en\(jun,2020\)](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en(jun,2020))
- Iqbal , M., Schiewer , S., & Cameron, R. (2009). Mechanistic elucidation and evaluation of biosorption of metal ions by grapefruit peel using FTIR spectroscopy, kinetics and isotherms modeling, cations displacement and EDX analysis . *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* , 48(10), 1516-1526.
- Miretzky, P. &. (2010). *Cr(VI) and Cr(III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: A review*. *Journal of Hazardous Materials*.

- Arias Velandia, J. H., Jhoncon, J. R., Martínez-Morales, E. E., & Stashenko. (2014). Estudio De Los Componentes Del Aceite Esencial Y Extracto De Clinopodium Bolivianum (Inca Muña) Obtenidos Por Hidrodestilación Y Extracción Con Co2 Supercrítico.
- Janis, A., M., M., Veiga, J., Shoveller, M., & Scoble, M. K. (2011). Perspectives on community health issues and the mining boom–bust cycle. *Resources Policy*. (2011), doi:10.1016/j.resourpol.
- Jiang, Q., Gao, W., Li, X., & Zhang, J. (2011). Características de Zea mays L., Fritillaria ussuriensis Maxim nativa e hidrolizada enzimáticamente. y Dioscorea opposita Thunb. almidones. . *Hidrocoloides alimentarios* , 3(25), 521-528. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X10001724>
- Joelmy , F., Yegres , F., Vargas , N., Morales , S., Cubillan , L., Navasy , M., & Márquez , M. (2017). Empleo de la Espectroscopia Infrarroja (FT-IR-ATR) como herramienta para la Caracterización del bagazo de caña proveniente de la Sierra . *Revista QuímicaViva* (3), 17-24 .
- Jonathan M. Sanchez-Silva, R. R. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales.
- Jonh Astete Cornejo, María del Carmen Gastañaga Ruiz, Iselle Sabastizagal Vela, Tania Oblitas Carranza, Martha Lucero Pérez,. (2010). Riesgos de la salud por exposcion a metales pesados en la provincia de Espinar Cusco 2010. *Ministerio de Salud* . Riesgos de la salud por exposcion a metales pesados en la provincia de Espinar Cusco 2010 .

- Joo, J. H., A., K., Hussein, & Hassan, S. H. (2011). Biosorptive capacity of Cd(II) and Pb(II) by lyophilized cells of *Pleurotus eryngii*. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 615-624.
- Lagos Estrella, S. (2017). *Adsorción de cadmio, hierro y plomo en Agua Artificial utilizando Moringa oleífera*. Tesis pre grado, Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes.
https://rraae.cedia.edu.ec/Record/USFQ_6ac146e9538df2bff8a553b94805a6e5
- Larenas, Andrango, & Inga. (2008). *Estudio isotérmico de biosorción de plomo en aguas utilizando residuos vegetales*.
- Lavado Meza, C., De la Cruz Cerrón, L., Asencios, Y., Francielle Candian, F. M., & Dávalos Prado, J. (Noviembre de 2023). Modificación alcalina de residuos agroindustriales de café arábica y teobroma -cacao para la eliminación eficaz de Pb (II) de soluciones acuosas.
- Lavado, C., Sun Kou, M., & Bendezu, S. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. . *Revista de la Sociedad Química del Perú* , 76(2), 165-178 .
- Lavado, M. C. (2021). *Biosorción de plomo de aguas contaminadas usando biomasa modificada químicamente del Nostoc commune*. Univeridad Nacional Del Centro del Peru , Junin . Junin: Universidad Nacional Centro del Perú.
- Lazo, J. C., Navarro, A. E., Sun-Kou, M. R., & Llanos, B. P. (2009). *Empleo de arcillas modificadas para la adsorción de fenol presente en soluciones acuosas*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. , Lima , Lima.

Ley general de salud. (julio de 1997). Ley N° 26842. *Ley General de Salud (aprobada el 20 de Julio de 1997). Perú .*

Leyva, R., Landin, L. E., Leyva, S., & Medellín, N. A. (2012). Modificación de la mazorca de maíz con ácido cítrico para mejorar su capacidad de adsorber cadmio (II) de una solución acuosa. . *Revista de Ingeniería Química , 170 , 113-120.*
https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/104887824/j.cej.2011.11.02120230809-1-k7epd8-libre.pdf?1691611643=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DModification_of_corncob_with_citric_acid.pdf&Expires=1719000431&Signature=NnOb5IZOP1aavwzLNqRcsb1YhR

Lezcano , J. M. (2008). *Efecto del pretatamiento de biomasa procedente de un hábitat eutrofizado sobre la bioadsorción de metales pesados.* Universidad Complutense de Madrid Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis doctoral .

Liew, H.-H. T., Yong, S. K., & Abdul-Talib, S. (2010). Biosorption characteristics of lead [Pb(II)] by *Pleurotus ostreatus* biomass. *Kuala Lumpur Malaysia, 1-5.*
https://www.researchgate.net/publication/241181026_Biosorption_characteristics_of_lead_PbII_by_Pleurotus_ostreatus_biomass

Limberger, V. M., de Francisco, A., Chan, A., Oro, T., Ogliari, P. J., & Barreto , P. (2014). Barley b-glucans extraction and partial characterization. *Food Chemistry, 154, 84-89* .
<https://doi.org/https://pdf.sciencedirectassets.com/271163/1-s2.0-S0308814614X00026/1-s2.0-S0308814614000028/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjELn%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F>

wEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQCz99ouNI8dHS5Ukcsh511G6QDSgMD
YcEr%2BjMI%2FCoa2JwIhAIxrbZtR

Mancipe Calderón, N., & Arias Rodríguez, S. (2020). *Remoción de mercurio y plomo contenido en efluentes de agua por el Pleurotus ostreatus inmovilizado en diferentes materiales*. Bogota : Facultad de Ingeniería. Universidad de Ingeniería .

Manzoor, Q., Nadeem, R., Iqbal, M., Saeed, R., & Ansari, T. M. (2013). Efecto del pretratamiento de ácidos orgánicos sobre la fitobiomasa de Rosa bourbonia para la eliminación de Pb (II) y Cu (II) de medios acuosos. . *Tecnología de biorecursos*(132), 446-452.

Marín, M., Tamaríz, V., Castelán, R., & Linares, G. (2015). Isotermas de adsorción de Pb y Cr por la biomasa de tres cepas del hongo de la pudrición blanca Pleurotus spp. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5).
<https://doi.org/http://reibci.org/publicados/2015/septiembre/1200107.pdf>

Marina, N. M. (s.f.). Sustancias toxicas en espinar. Disponible en:
[https://gestion.pe/peru/ammnistia-internacional-advierte-exposicion-de-personas-a-sustancias-toxicas-en-espinar-noticia/18 mayo 2021](https://gestion.pe/peru/ammnistia-internacional-advierte-exposicion-de-personas-a-sustancias-toxicas-en-espinar-noticia/18-mayo-2021) <https://>

Mármol, Z., Páez, G., Marisela, R., Karelen, A., Cateryna, A., Chandler, Cintia, & Gutiérrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones .

Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., & Araujo, K. (2012). Quitina y Quitosano, polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones.

Martínez Guijarro, M. R. (2020). *Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. <http://hdl.handle.net/10251/138418>.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible/control y monitoreo . (2017).
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.argentina.gob.ar/>
- Ministerio del ambiente Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. (2015).
- MINSA – CENSOPAS. (2021). Riesgos a la salud por exposición a metales pesados en la provincia de Espinar-Cusco – 2010. Disponible en: https://bvs.ins.gob.pe/insprint/CENSOPAS/metales_pesados/INFORME%20Espinar-Metales%20pesadosCONGRESO%202012.
- Miranda, L. M. (2012). *Biosorción de plomo (ii), presente en soluciones acuosas, con cascara de tuna*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Miretzky, P., & Fernández Cirelli, A. (2010). Cr(VI) yCr(III) eliminación de acuoso solución por crudo yMateriales lignocelulósicos modificados: una revisión. *Diariode Materiales peligrosos*, 180, 1-19. DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.04.060. *A review. Journal of Hazardous Materials*, 1-19.
- Modak, J. M., & Natarajan, K. A. (1995). Biosorción de metales utilizando biomasa no viva: una revisión. . *Minería, Metalurgia y Exploración* , 12 , 189-196. <https://doi.org/https://link.springer.com/article/10.1007/BF03403102>
- Mohamed Kaleem, J. I., & Mumtaz, A. S. (Marzo de 2023). Estudios cinéticos y de equilibrio de la adsorción de plomo y cadmio a partir de soluciones acuosas utilizando *Scenedesmus* sp.
- Mondal;Periche;Tineo;Bermejo;Rahman;Siddique;Rahman;Solis;Cruz. (2020). Arsenic in Peruvian rice cultivated in the major rice growing region of Tumbes river basin. 241.

- Mondragón , M. (2020). Análisis de los espectros de infrarrojo. En Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas (66-82). Guadalajara: CIATEJ.
- Mondragón Cortez, M. (2020). Espectroscopia IR para todos, tercer capítulo 25-40). Guadalajara: CIATEJ.
- Morales, F., & Tovar, R. (2008). *Determinacion de la capacidad de remocion de cadmio -, plomo y niquel por hongos de la pobredumbre blanca inmovilizados*. Pontificia Universidad Javeriana .
- Murithi, G. L. (2010). *The water Hyacinth Eichhornia crassipies (mart) solms as a biosorbent for cadmium (II) and lead (II) removal: kinetic and equilibrium*. Kenyatta:. Tesis de la Universidad de Kenyatta. .
- Naja, G., & Volesky, B. (2011). The Mechanisms of metal cation and anion Biosorption. *En Microbial Biosorption of Metals*, 19-58.
- Naranjo, & Chávez. (2015). *Analisis comparativo entre dos metodos de extracion de aceites esensiales*.
- National Primary Drinking Water Regulations. (2019). <https://www.epa.gov/>: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- Navarro, A., Ramos, K., Campos, K., & Maldonado, H. (2006). Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolimeros naturales: Cationes divivalente y superficies activas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(2), 113-126. <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/08/2006-navarro.pdf>

- Nethaji, S., Sivasamy, A., & Mandal, A. (2013). Isotermas de adsorción, cinética y mecanismo para la adsorción de colorantes catiónicos y aniónicos sobre partículas carbonosas preparadas a partir de biomasa de concha de *Juglans regia*. *Revista internacional de ciencias y tecnología ambiental*, 231-242.
- Nguyen, Ngo, Guo, Zhang J, S, L., & Yue QY, L. Q. (2013). Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. *Bioresour Technol. Bioresource technology*, 574–585.
- Niazmand, R., Scholes, C., & Kentish, S. (2019). Efficient degumming of crude canola oil using ultrafiltration membranes and bio derived solvents.
- ONU. (2006).
<https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>.
- Oporto, C., Vandecasteele, C., & Smolders, E. (2007). Elevadas concentraciones de cadmio en tubérculos de papa debido al riego con agua de río contaminada por la minería en Potosí, Bolivia. Bolivia.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). Informe 600.000 niños con retraso intelectual por culpa del plomo.
- Osores Plenge, F. (2016). *Diagnóstico De Salud Ambiental Humana En La Provincia De Espinar-Cusco*. Cusco .
- Pabón, R. B.-V. (2018). Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal.
- Paccha Rufasto, C. A., & Paccha Huamani, P. R. (Junio de 2023). Capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para remover contaminantes de aguas

residuales. *Adsorption capacity of agroindustrial waste to remove contaminants from wastewater*, 51.

Pacheco Tanaka, M. E., & Roque, W. (2010). Cinética de la bioadsorción de iones cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual de café (*Coffea arábica L.*)”, *Revista de la sociedad química de Perú* v.76 n.3 Lima jul./dic. 2010, consu. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 279-292. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000300009&lng=es&tlng=es

Pagnanelli, F., Esposito, A., Toro, L., & Veglio, F. (2003). Especiación de metales y efecto del pH en la biosorción de Pb, Cu, Zn y Cd en *Sphaerotilus natans*: modelo empírico tipo Langmuir. *Investigación del agua*, 37(3), 627-633. https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39714923/Metal_speciation_and_pH_effect_on_Pb_Cu_20151105-8122-v4dw5i-libre.pdf?1446735084=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMetal_speciation_and_pH_effect_on_Pb_Cu.pdf&Expires=1719005445&Signature=HI

Pérez Sáez, Á. L. (2020). *Empleo de residuos agroindustriales o urbanos como*. Tesis pre grado, Universidad de Jaen. <https://crea.ujaen.es/bitstream/10953.1/12335/1/TFG%20Angel%20Luis%20Perez%20Saez.pdf>

Plaza, J. D. (2012). *Remoción de metales pesados empleando algas marinas*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de la Plata.

- Plette, Benedetti, & Riemsdijk, V. (1996). Competitive binding of protons, calcium, cadmium and zinc to isolated cell walls of a Gram-positive soil bacterium. *Environment Science and Technology*, 1902-1910.
- Pranata Putra, W. ., (2014). Biosorption of Cu(II), Pb(II) and Zn(II) Ions from Aqueous Solutions Using Selected Waste Materials: Adsorption and Characterisati.
- Priyanka Yadav, V. M., Kumar, T., Kumar, A., Gau, A., & Singh, M. P. (Marzo de 2023). Un enfoque para evaluar la tolerancia al Pb y sus mecanismos de eliminación por parte de *Pleurotus opuntiae*.
- Putra, W., Kamari, A., Yusoff, S., Ishak, C., Mohamed, A., Hashim, N., & Isa, I. (2014). Biosorción de iones Cu (II), Pb (II) y Zn (II) a partir de soluciones acuosas utilizando materiales de desecho seleccionados: estudios de adsorción y caracterización. . *Revista de Ciencias de Encapsulación y Adsorción* , 4(1), 11.
- Queirolo, Á., & Morales, R. (2019). *Cinética Del Secado Convectivo De Hojas De Minthostachys Mollis (Muña)*".
- RAEE. (2013). Responsabilidad Social Empresarial para el Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
- Rajindar, K. (Junio de 1976). Water pollution and human health. 289-297.
- Ramírez, M. (2016). *Bioadsorción de Cobre, Cadmio y Manganeso con cáscara de naranja de las aguas de la Laguna Colquicocha*. . Tesis: Universidad Nacional de Callao.
- Rangabhashiyam, S., & Balasubramanian, P. (2019). Characteristics, performances, equilibrium and kinetic modeling aspects of heavy metal removal using algae. *Bioresource Technology Reports*.

- Rangabhashiyam, S., Selvaraju, S., Selvaraju, N., & Varguese, L. A. (2014). Significance of exploiting non-living biomaterials for the biosorption of wastewater pollutants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* .
- Rebollo, J. (2012). *Eliminación de cadmio (II) de efluentes urbanos tratados mediante procesos de bioadsorción: el efecto competitivo de otros metales pesados* . Tesis: Universidad Politécnica de Cartagena .
- Rojas Felipe, E., Sánchez Araujo, V. G., Hinojosa Yzarra, L. A., Rivera Trucios, F., & Rodríguez Deza, J. W. (Enero de 2023). Capacidad biosortiva del *Nostoc commune* en la separación del plomo de aguas contaminadas. 7.
- Romero, H., Vera, J., Sánchez, A., Ramón, W., & Montenegro, L. (2022). Comparación de modelos cinéticos isotérmicos durante la adsorción de plomo mediante *Azolla caroliniana*. . *Ingeniería Industrial* , 42, 99-114 .
- Salaverry. (2005). *La complejidad de lo simple: plantas medicinales y sociedad moderna*. *Rev peru med exp salud pública*.
- Sanchez , A. (2015). *Síntesis de nanopartículas derivadas de biopolímeros extraídos de biomasa por métodos térmicos* . Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Graduados en Ciencia .
- Sánchez, A., L, P. L., Gómez, V., Mora, R., & Mercado, S. (2016). *Los hongos como fuente de recursos farmacológicos: Ganoderma lucidum; Grifola frondosa; y Pleurotus ostreatus*. *Temas de Ciencia y Tecnología*, Vol. 20 (58): 2.
- Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & SunkelOsvaldo. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad.

- Sánchez, P. (2014). *Eliminación de metales pesados de efluentes líquidos por adsorción en materiales naturales residuales de bajo coste (acículas de pino) Proyecto de investigación*. Universidad de Murcia. Universidad de Murcia .
- Sari, & Tuzen. (2009). Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass. *J Hazard Mater*, 2-3.
- Saucedo Luna, J., Castro Montoya AJ, R. J., & Campos García, J. (2010). *Optimización de la hidrólisis ácida del bagazo de Agave tequilana Weber. Revista mexicana de ingeniería química* .
- Sebastián, L. E. (2017). *Adsorción de cadmio, hierro y plomo en Agua Artificial utilizando Moringa oleífera*. Universidad San Francisco de Quito. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6576>
- Shan, H. Y., & Mc, y. (1999). Modelo de pseudosegundo orden para procesos de sorción. *Bioquímica de procesos*.
- Sharma, P., Kaur, M., Sharma, & Sahore., V. (2011). A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151-195.
- Sheng, P., Ting, Y., Chen, J., & Hong, L. (2004). Absorción de plomo, cobre, cadmio, zinc y níquel por biomasa de algas marinas: caracterización de la capacidad de bioadsorción e investigación de mecanismos. . *Revista de ciencia de coloides e interfaces* , 275(1), 131-141 .
<https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979704000943>

- Shuhong, Y., Meiping, Z., Hong, Y., Han, W., Shan, X., Yan, L., & Jihui, W. (2014). Biosorción de Cu(2+), Pb(2+) y Cr(6+) por un nuevo exopolisacárido de *Arthrobacter ps-5*. *Polímeros de carbohidratos*, 101 , 50-56.
- Shuhong, Y., Meiping, Z., Hong, Y., Wang Han, X. S., & Liu Yan, W. J. (Junio de 2014). Biosorption of Cu(2+), Pb(2+) and Cr(6+) by a novel exopolysaccharide from *Arthrobacter ps-5* Journal carbohydrate Polymers. *Journal homepage*, 101(pag.50-56), 50-56. www.elsevier.com/locate/carbpol
- Silva Morales, S. S. (2022). *Capacidad de biosorción de metales pesados en Saccharomyces cerevisiae aportado en la dieta de ganado bovino productor de leche*. tesis Colegio de post graduados instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas , Mexico .
- Silva, S. (2022). *Capacidad de biosorción de metales pesados en Saccharomyces cerevisiae aportado en la dieta de ganado bovino productor de leche*. Doctoral dissertation.
- Silverstein, R. M. (2005). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. John Wiley & Sons, INC, Seven Edition, New York.
- Silverstein, R., & Bassler, G. C. (1962). Spectrometric identification of organic compounds. *Journal of Chemical Education*, 11(39), 546.
- Srivastava, S. a. (2006). *Isolation and process parameter optimization of Aspergillus sp. for removal of chromium from tannery effluent*. *Biores.Technol.* 97:1167-1173.
- Suteu, D., Malutan, T., & Bilba, D. (2010). Removal of reactive dye brilliant red HE-3B from aqueous solutions by industrial lignin: Equilibrium and kinetics modeling. *Desalination*, 1-3(255), 84-90.

- Tan GuangQun, T. G., Yuan HongYan, Y. H., Liu Yong, L. Y., & Xiao Dan, X. D. (2010). Eliminación de plomo de solución acuosa con mazorcas de maíz nativas y químicamente modificadas. . *Journal of Hazardous Materials* , 174(1-3), 740-745 .
<https://doi.org/https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103005197>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.
- Tejada, T. C., Ruiz, P. E., Gallo Mercado, J., & Bohórquez, J. M. (Junio de 2015). Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución. *Prostectiva*, 59-67.
https://www.researchgate.net/publication/281264437_Evaluacion_de_la_biosorcion_con_bagazo_de_palma_africana_para_la_eliminacion_de_Pb_II_en_solucion
- Tur, E., Romagosa, Y., & Pérez, R. M. (2013). Bioadsorción de plomo (II) por biomasa microbiana seca: Efecto del pH. . *Revista Cubana de Química*, 25(1), 75-81 .
<https://doi.org/file:///C:/Users/usuario/Downloads/osmani,+812-2948-1-CE.pdf>
- Valdespino Sahagún, F. L. (2020). *Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles; hacia una seguridad alimentaria. meioambiente* .
- Valentinuzzi, M. C. (2008). *Analisis Por Fluorescencia De Rayos X: Implementacion De Guias De Haces En Reflexion Total* .
- Valladares, M. G., Valerio, C., de la Cruz, P., & Melgoza, R. M. (Diciembre de 2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales . *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* , 31(16), 55-73 .

- Vallejo, M., Marín, M., Ramos, M., Silva, S., Ibarra, D., & Tamariz, J. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. . *Revista mexicana de ciencias agrícolas* , 12(2), 275-289 .
- Vargas, R. (2022). *Biosorción de Cromo (III) de aguas contaminadas utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst.* . Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco .
- Vera, L., Uguña, M. F., García, N., Marittza, F., & Vázquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 73(573), 43-49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5467346>
- Vicente, A., Blázquez, Garcia, de-Hoces, C., Martín-Lara, & Ronda-Gálvez. (2013). Panorama general en torno a la contaminación del agua por níquel. la biosorción como tecnología de tratamiento. *Revista Cubana de Química* . 266-280.
- Vimala, N. D. (Julio de 2009). Biosorción de cadmio (II) y plomo (II) a partir de soluciones acuosas utilizando hongos: un estudio comparativo. *Journal of hazardous materials*, 376-382. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.062>
- Vishtal, A., & Kraslawski, A. (2011). Challenges in industrial applications of technical lignins. *BioResources*, 3547-3568.
- Vizcaíno, L., Fuentes, N., & González, H. (2017). Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. . *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* , 20 (2), 435-444 . https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262017000200021&script=sci_arttext

- Volesky. (2003). *Equilibrium biosorption performance*. En: *Sorption and Biosorption*. BV Sorbex Inc. Montreal. Canada. 103-178.
- Wang, F. Y., Wang, H., & Ma, J. W. (2010). Adsorción de iones cadmio (II) de una solución acuosa mediante un nuevo adsorbente de bajo costo: el carbón de bambú. . *Revista de materiales peligrosos* , 1-3 (177), 300-306 .
https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Hui-Wang-60/publication/40785217_Adsorption_of_CadmiumII_Ions_from_Aqueous_Solution_by_a_New_Low-Cost_Adsorbent_-_Bamboo_Charcoal/links/5c52639692851c22a39d3342/Adsorption-of-CadmiumII-Ions-from-Aqueous-Solution-by-a-N
- Who regional office africa. (2014). Chemicals of public health concern in the African Region and their management: Regional Assessment Report.
- Wood, AL. (1996). Assessing the risk from environmental cadmium exposure. 432-436.
[https://www.google.com/search?q=Wood%2C+ALUTF-8Health Med 1996;18:432-436](https://www.google.com/search?q=Wood%2C+ALUTF-8Health+Med+1996;18:432-436).
- World health organization. (2014). Chemicals of public health concern in the african region and their management: regional assessment report.
- Xiangliang, P., Jianlong, W., & Daoyong, Z. (2005). Biosorción de Pb (II) por *Pleurotus ostreatus* inmovilizado en gel de alginato de calcio. . *Bioquímica de procesos* , 40 (8), 2799-2803 .
- Yadav, P., Mishra, V., Kumar, T., Rai, A., Gaur, A., & Singh, M. (2023). Un enfoque para evaluar la tolerancia al Pb y sus mecanismos de eliminación por parte de *Pleurotus opuntiae*. *Revista de hongos* , 4(9), 405.
<https://doi.org/file:///C:/Users/usuario/Downloads/jof-09-00405-v2.pdf>

- Yahiaoui, I., Belattaf, A., Aissani-Benissad, F., & Yahia Cherif, L. (2011). Full Factorial Design Applied to a Biosorption of Lead(II) Ions from Aqueous Solution Using Brewer's Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2011, 56. 3999-4005.
- Yang, S., Sun, X., Shen, Y., Chang, C., Guo, E., zhao, Yong, G. L., & LiRecibido, X. (2017). Tolerancia yd Mecanismos de eliminación de Metales pesadospor Hongo Pleurotus ostreatus HAAS. *Springer Internacionalpubli internacionalhing*. <https://www.x-mol.net/paper/article/1225037767069188096>
- Yapuchura Mamani, R. (2010). Identificación de los compuestos fenólicos antioxidantes de la inca muña . *Clinopodium bolivianum* .
- Zhang , Y., Liu , W., Xu , M., Zheng , F., & Zhao , M. (2010). Study of the machanisms of Cu²⁺biosorption by etanol/caustic-pretreated baker´s yeast biomass. *Journal of Hazardous materials, 1-3*(178), 1085-1093.
- Zhou, D., Zhang, L., Zhou, J., GuoS, & Sci. (2004). Development of a fixed-bed column with cellulose/chitin beads to remove heavy metal ions. *Journal of Applied Polymer Science* , 684-691.

ANEXOS

I. Resultados detallados del parte experimental generado en los diferentes procedimientos

1. Efecto de la concentración de los bioadsorbentes para cadmio

Tabla 1.1 Capacidad de adsorción en función de concentración de *Minthostachys acris* (MA) para cadmio

m(g/L)	Ce (mg/L)	Ce*(mg/L)	qe (mg/g)	qe* (mg/g)	%A
	21.03	21.95	897.5	804.80	29.90
0.01	21.63	22.15	836.8	785.00	27.90
	20.94	22.29	905.7	771.00	30.20
	12.5	11.97	349.94	360.54	58.33
0.05	12.67	12.16	346.54	356.78	57.77
	12.69	12.26	346.26	354.90	57.70
	8.49	10.71	215.07	192.90	71.70
0.1	8.5	10.87	215.02	191.30	71.67
	8.42	10.89	215.78	191.10	71.93
	6.67	7.58	116.65	112.09	77.77
0.2	6.84	7.54	115.79	112.29	77.20
	6.26	7.73	118.73	111.35	79.13
	2.69	2.18	91.03	92.75	91.03
0.3	2.69	2.24	91.04	92.53	91.03
	2.64	2.21	91.2	92.64	91.20
	4.71	4.18	50.58	51.63	84.30
0.5	4.84	4.12	50.33	51.75	83.87
	4.66	4.26	50.67	51.48	84.47
	4.75	3.48	25.25	26.52	84.17
1	4.71	3.45	25.3	26.55	84.30
	4.59	3.24	25.41	26.76	84.70

m= masa de MA, Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura) C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura), %A eficiencia de adsorción

Tabla 1.2 Capacidad de adsorción en función de la concentración de *Clinopodium bolivianum* (CB) para cadmio

m (g/L)	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	%A
	22.37	22.27	762.90	772.70	25.43
0.01	22.21	22.31	779.50	769.30	25.97
	22.20	22.29	779.80	771.30	26.00
	13.94	13.11	321.18	337.82	53.53
0.05	14.25	13.35	314.94	333.04	52.50
	14.16	13.40	316.80	332.00	52.80
	8.17	7.41	218.33	225.89	72.77
0.1	7.98	7.63	220.17	223.70	73.40
	8.31	7.60	216.90	224.04	72.30
	7.26	4.37	113.69	128.15	75.80
0.2	7.40	4.55	112.99	127.23	75.33
	7.37	4.46	113.13	127.73	75.43
	2.69	2.18	91.04	92.75	91.03
0.3	2.64	2.24	91.20	92.53	91.20
	2.69	2.21	91.03	92.64	91.03
	3.63	3.91	52.74	52.19	87.90
0.5	3.52	3.95	52.96	52.10	88.27
	3.70	3.71	52.61	52.58	87.67
	3.00	4.93	27.00	25.08	90.00
1	3.16	4.76	26.84	25.24	89.47
	3.37	4.88	26.63	25.12	88.77

m= masa de CB, Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura) C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura)

Tabla 1.3 Capacidad de adsorción en función de la concentración de estípides *Pleurotus spp* (EP) para cadmio

m(g/L)	Cf(mg/g)	Cf*(mg/g)	Q(mg/L)	Q*(mg/L)	%A
	18.02	15.79	399.33	473.67	39.93
0.03	17.86	16.23	404.67	459.00	40.47
	17.94	16.01	402.00	466.33	40.20
	16.94	15.66	261.20	286.80	43.53
0.05	17.00	15.83	260.00	283.40	43.33
	16.97	15.75	260.60	285.10	43.43
	15.71	16.31	178.63	171.13	47.63
0.08	16.03	16.19	174.63	172.63	46.57
	15.87	16.25	176.63	171.88	47.10
	15.95	14.55	140.50	154.50	46.83
0.1	15.17	14.84	148.30	151.60	49.43
	15.56	14.70	144.40	153.05	48.13
	15.17	13.63	123.58	136.42	49.43
0.12	15.48	13.62	121.00	136.50	48.40
	15.33	13.63	122.29	136.46	48.90
	15.47	13.80	103.79	115.71	48.43
0.14	15.66	13.87	102.43	115.21	47.80
	15.57	13.84	103.11	115.46	48.10

m= masa de EP Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura) C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura)

2. Efecto de la concentración de los bioadsorbentes para plomo (II)

2.1 Capacidad de adsorción en función de la concentración *Mintosthachys acris* (MA) Para plomo

m(g/L)	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	%A
	12.64	10.08	1736.00	1992.00	57.87
0.01	12.32	10.44	1768.00	1956.00	58.93
	12.71	10.48	1729.00	1952.00	57.63
	2.02	2.02	559.60	559.60	93.27
0.05	2.14	2.16	557.20	556.80	92.87
	2.19	2.22	556.20	555.60	92.70
	1.57	1.18	284.30	288.20	94.77
0.1	1.68	1.27	283.20	287.30	94.40
	1.73	1.26	282.70	287.40	94.23
	0.93	0.73	145.35	146.35	96.90
0.2	0.98	0.77	145.10	146.15	96.73
	0.99	0.68	145.05	146.60	96.70
	1.83	1.51	93.90	94.97	93.90
0.3	1.78	1.54	94.07	94.87	94.07
	1.84	1.55	93.87	94.83	93.87
	1.03	1.83	28.97	28.17	96.57
1	1.08	1.88	28.92	28.12	96.40
	1.1	1.91	28.90	28.09	96.33

m= masa de MA, Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura) C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura)

Tabla 2.2 Capacidad de adsorción en función de la concentración de *Clinopodium bolivianum* (CB) para plomo

m(g/L)	Cf(mg/L)	Cf*(mg/l)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	%A
	18.13	18.10	1187.00	1190.00	39.67
0.01	18.15	18.16	1185.00	1184.00	39.47
	18.10	18.19	1190.00	1181.00	39.37
	7.33	7.66	453.40	446.80	74.47
0.05	7.33	7.66	453.40	446.80	74.47
	7.35	7.66	453.00	446.80	74.47
	4.71	4.39	252.90	256.10	85.37
0.10	4.71	4.34	252.90	256.60	85.53
	4.71	4.36	252.90	256.40	85.47
	3.04	2.28	134.80	138.60	92.40
0.20	3.00	2.31	135.00	138.45	92.30
	3.03	2.30	134.85	138.50	92.33
	1.30	1.31	95.67	95.63	95.63
0.30	1.32	1.32	95.60	95.60	95.60
	1.52	1.53	94.93	94.90	94.90
	1.47	1.22	57.06	57.56	95.93
0.50	1.50	1.22	57.00	57.56	95.93
	1.49	1.23	57.02	57.54	95.90
	1.62	1.58	28.38	28.42	94.73
1.00	1.60	1.57	28.40	28.43	94.77
	1.60	1.58	28.40	28.42	94.73

m= masa de CB, Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura) C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura)

Tabla 2.3 Capacidad de adsorción en función de la concentración *Pleurotus spp* (EP) para plomo.

m(g/L)	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	%A
0.03	11.05	9.89	631.67	670.33	63.17
	11.54	10.11	615.33	663.00	61.53
	11.30	10.00	623.50	666.67	62.35
0.05	5.96	6.90	480.80	462.00	80.13
	6.37	7.60	472.60	448.00	78.77
	6.17	7.25	476.70	455.00	79.45
0.08	4.45	5.01	319.38	312.38	85.17
	4.88	5.00	314.00	312.50	83.73
	4.67	5.01	316.69	312.44	84.45
0.1	5.81	7.09	241.90	229.10	80.63
	6.28	7.16	237.20	228.40	79.07
	6.05	7.13	239.55	228.75	79.85
0.12	4.26	4.60	214.50	211.67	85.80
	4.61	5.02	211.58	208.17	84.63
	4.44	4.81	213.04	209.92	85.22
0.14	3.36	4.50	190.29	182.14	88.80
	3.63	5.01	188.36	178.50	87.90
	3.50	4.76	189.32	180.32	88.35

m= masa de EP Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura), C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura)

3. Capacidad de adsorción de los bioadsorbentes en función del pH para cadmio

Tabla 3.1 Capacidad de adsorción en función del pH de *Minthotachys acris* (MA) para cadmio

pH	Cf (mg/L)	Cf*(mg/L)	Q (mg/g)	Q*(mg/g)	A%
	27.44	26.88	8.53	10.41	8.53
2	27.56	26.86	8.14	10.47	8.13
	27.49	26.95	8.36	10.17	8.37
	4.65	3.97	84.52	86.78	84.50
3	4.77	3.88	84.11	87.08	84.10
	4.9	3.96	83.67	86.79	83.67
	3.09	3.05	89.69	89.83	89.70
4	3.27	2.77	89.1	90.76	89.10
	3.09	2.88	89.69	90.4	89.70
	3.06	2.73	89.81	90.89	89.80
5	3.18	2.73	89.41	90.89	89.40
	3.03	2.61	89.9	91.32	89.90
	2.69	2.18	91.03	92.75	91.03
6	2.69	2.24	91.04	92.53	91.03
	2.64	2.21	91.2	92.64	91.20
	2.9	2.74	90.33	90.88	90.33
7	2.84	2.73	90.52	90.92	90.53
	2.9	2.76	90.33	90.79	90.33

Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura),C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura), %A eficiencia de adsorción

Tabla 3.2 Capacidad de adsorción en función del pH de CB para cadmio

pH	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	A%
	25.50	25.29	15.00	15.69	15.00
2	25.48	25.45	15.06	15.18	15.07
	25.54	25.37	14.87	15.43	14.87
	4.28	4.40	85.73	85.32	85.73
3	4.39	4.52	85.38	84.94	85.37
	4.45	4.51	85.16	84.98	85.17
	2.35	3.02	92.16	89.95	92.17
4	2.16	2.88	92.81	90.41	92.80
	2.29	3.11	92.37	89.63	92.37
	1.84	2.15	93.85	92.84	93.87
5	2.05	2.06	93.16	93.12	93.17
	2.04	2.21	93.19	92.62	93.20
	2.23	2.36	92.57	92.12	92.57
6	2.29	2.28	92.35	92.40	92.37
	1.76	2.41	94.12	91.97	94.13
	1.74	1.98	94.21	93.40	94.20
6.5	1.92	2.03	93.59	93.22	93.60
	1.85	1.94	93.83	93.53	93.83

Tabla 3.3 Capacidad de adsorción en función del pH de EP para cadmio

pH	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	%A
2	28.15	27.53	18.51	24.68	6.17
	27.89	27.52	21.09	24.78	7.03
	28.02	27.53	19.8	24.73	6.60
3	25.28	21.31	47.22	86.91	15.73
	25.25	21.27	47.54	87.31	15.83
	25.26	21.29	47.38	87.11	15.80
4	19.99	17.15	100.1	128.52	33.37
	20.04	17.28	99.63	127.25	33.20
	20.01	17.21	99.87	127.89	33.30
5	17.77	12.37	122.3	176.35	40.77
	18	12.67	120.02	173.32	40.00
	17.88	12.52	121.16	174.84	40.40
6	13.38	12.68	166.22	173.25	55.40
	13.51	12.91	164.93	170.89	54.97
	13.44	12.79	165.58	172.07	55.20
7	13.51	10.02	164.88	199.82	54.97
	13.76	10.19	162.36	198.13	54.13
	13.64	10.1	163.62	198.98	54.53

Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura)

C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura), %A eficiencia de adsorción

4. Capacidad de adsorción de los bioadsorbentes en función del pH para Plomo (II)

Tabla 4.1 Capacidad de adsorción en función del pH de MA para plomo (II)

pH	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	Q*(mg/g)	%A
2	7.11	6.47	228.9	235.3	76.30
	7.12	6.46	228.8	235.4	76.27
	7.14	6.47	228.6	235.3	76.20
3	1.78	1.51	282.2	284.9	94.07
	1.83	1.54	281.7	284.6	93.90
	1.84	1.55	281.6	284.5	93.87
3.5	2.67	3.31	273.3	266.9	91.10
	2.79	3.38	272.1	266.2	90.70
	2.75	3.41	272.5	265.9	90.83
4	2.35	3.03	276.5	269.7	92.17
	2.42	3.12	275.8	268.8	91.93
	2.43	3.14	275.7	268.6	91.90
4.5	4.8	4.18	252	258.2	84.00
	4.93	4.3	250.7	257	83.57
	4.94	4.34	250.6	256.6	83.53
5	3.52	3.92	264.8	260.8	88.27
	3.6	4.02	264	259.8	88.00
	3.63	4.05	263.7	259.5	87.90

Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura),C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura), %A eficiencia de adsorción

Tabla 4.2 Capacidad de adsorción en función del pH de CB para plomo (II)

pH	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	Q(mg/g)	*(mg/g)	%A
2	5.4	3.93	82	86.9	82.00
	5.82	3.96	80.6	86.8	80.60
	5.91	3.99	80.3	86.7	80.30
3	1.32	1.31	95.6	95.63	95.60
	1.3	1.31	95.67	95.63	95.67
	1.32	1.32	95.6	95.6	95.60
4	1.52	1.53	94.93	94.9	94.93
	1.57	1.59	94.77	94.7	94.77
	1.54	1.61	94.87	94.63	94.87
5	1.53	1.56	94.9	94.8	94.90
	1.59	1.57	94.7	94.77	94.70
	1.61	1.51	94.63	94.97	94.63
6	1.48	1.69	95.07	94.37	95.07
	1.53	1.76	94.9	94.13	94.90
	1.54	1.77	94.87	94.1	94.87
7	1.88	1.91	93.73	93.63	93.73
	1.9	1.98	93.66	93.4	93.67
	1.88	1.99	93.73	93.37	93.73

Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura), C*f= concentración final del metal,(segunda lectura), Q* capacidad de adsorción (segunda lectura), %A eficiencia de adsorción

Tabla 4.3 Capacidad de adsorción en función del pH de EP para plomo (II)

pH	Cf(mg/g)	Cf*(mg/g)	q(mg/L)	q*(mg/L)	%A
2	26.67	25.59	33.3	44.1	11.10
	26.64	25.44	33.6	45.6	11.20
	26.66	25.52	33.45	44.85	11.13
2.5	20.81	19.4	91.9	106	30.63
	20.74	19.56	92.6	104.4	30.87
	20.78	19.48	92.25	105.2	30.73
3	9.62	12.15	203.8	178.5	67.93
	9.88	12.41	201.2	175.9	67.07
	9.75	12.28	202.5	177.2	67.50
3.5	8.32	8.75	216.8	212.5	72.27
	8.68	9.12	213.2	208.8	71.07
	8.5	8.94	215	210.65	71.67
4	7.65	9.45	223.5	205.5	74.50
	8.09	9.77	219.1	202.3	73.03
	7.87	9.61	221.3	203.9	73.77
4.5	6.7	6.58	233	234.2	77.67
	7.13	6.93	228.7	230.7	76.23
	6.92	6.76	230.85	232.45	76.93
5	3.57	4.77	264.3	252.3	88.10
	3.97	4.56	260.3	254.4	86.77
	3.77	4.67	262.3	253.35	87.43

Cf = concentración final del metal, Q= capacidad de adsorción (primera lectura),C*f= concentración final del metal, Q* capacidad de adsorción (segunda lectura), %A eficiencia de adsorción

5. Capacidad de adsorción de los bioadsorbentes en función del tiempo

Tabla 5.1 Capacidad de adsorción de MA en función del tiempo para cadmio

t(minutos)	Cf (mg/L)	Cf *(mg/L)	q (mg/g)	q* (mg/g)	A%
0	0	0	100	100	
4	6.25	4.75	79.18	84.18	79.17
	6.38	4.66	78.72	84.46	78.73
	6.35	4.73	78.83	84.22	78.83
6	5.98	3.96	80.06	86.81	80.07
	6.04	4.12	79.86	86.27	79.87
	6.07	3.91	79.78	86.97	79.77
12	4.14	4.51	86.20	84.96	86.20
	4.39	4.48	85.36	85.06	85.37
	3.78	4.60	87.40	84.65	87.40
22	3.44	3.32	88.52	88.94	88.53
	3.43	3.14	88.56	89.54	88.57
	3.49	2.91	88.37	90.30	88.37
32	2.94	2.71	90.19	90.97	90.20
	2.73	2.83	90.92	90.56	90.90
	2.69	2.78	91.05	90.73	91.03
40	2.52	2.14	91.60	92.86	91.60
	2.52	2.39	91.60	92.02	91.60
	2.64	2.48	91.21	91.74	91.20
60	2.21	2.13	92.64	92.90	92.63
	2.29	2.13	92.38	92.90	92.37
	2.25	2.15	92.50	92.84	92.50
120	2.14	1.74	92.88	94.21	92.87
	2.00	1.98	93.35	93.39	93.33
	1.98	1.75	93.40	94.17	93.40
400	2.74	2.06	90.87	93.12	90.87
	2.62	1.98	91.28	93.40	91.27
	2.81	2.11	90.65	92.97	90.63
					100.00

Tabla 5.2 Capacidad de adsorción de CB en función del tiempo para cadmio

t(minutos)	Cf(mg/L)	Cf *(mg/L)	q(mg/g)	q*(mg/g)	A%
0	0	0	100	100	
	15.34	14.36	48.88	52.13	52.13
4	15.20	15.04	49.33	49.88	49.87
	15.20	14.70	49.33	51.01	51.00
	10.06	9.05	66.46	69.82	69.83
6	10.12	9.41	66.25	68.63	68.63
	10.18	9.39	66.06	68.69	68.70
	8.73	7.85	70.90	73.82	73.83
12	8.68	7.84	71.07	73.88	73.87
	8.66	7.82	71.12	73.92	73.93
	8.66	8.49	71.12	71.70	71.70
22	9.75	8.69	67.51	71.03	71.03
	9.62	8.65	67.94	71.17	71.17
	9.12	8.35	69.61	72.16	72.17
32	9.22	8.67	69.27	71.11	71.10
	9.06	8.74	69.81	70.88	70.87
	7.90	7.49	73.68	75.03	75.03
40	7.91	7.72	73.62	74.27	74.27
	7.82	7.55	73.93	74.84	74.83
	8.75	7.74	70.84	74.20	74.20
60	8.75	8.02	70.83	73.26	73.27
	8.65	8.04	71.15	73.20	73.20
	8.70	7.85	70.99	73.83	73.83
120	8.58	7.83	71.39	73.90	73.90
	9.04	7.87	69.86	73.78	73.77
	7.16	7.37	76.12	75.42	75.43
160	7.09	7.21	76.36	75.98	75.97
	7.13	7.36	76.25	75.46	75.47
	6.81	7.41	77.31	75.31	75.30
400	7.07	7.60	76.43	74.67	74.67
	6.94	7.50	76.87	74.99	75.00

Tabla 5.3 Capacidad de adsorción de EP en función del tiempo para cadmio

t(minutos)	Cf(mg/g)	Cf *mg/g)	q(mg/L)	q*(mg/L)	A%
0			0	0	
	14.74	14.96	152.62	150.39	50.13
5	15.19	14.96	148.15	150.40	50.13
	14.96	14.96	150.39	150.40	50.13
	12.70	12.87	173.02	171.35	57.10
10	13.04	13.09	169.65	169.10	56.37
	12.87	12.98	171.34	170.23	56.73
	14.04	14.18	159.62	158.23	52.73
20	14.32	14.13	156.83	158.70	52.90
	14.18	14.15	158.23	158.47	52.83
	15.27	15.44	147.31	145.57	48.53
30	15.59	15.40	144.10	146.01	48.67
	15.43	15.42	145.71	145.79	48.60
	16.53	16.71	134.72	132.93	44.30
40	16.89	16.69	131.13	133.11	44.37
	16.71	16.70	132.93	133.02	44.33
	13.78	13.63	162.18	163.70	54.57
60	13.48	13.76	165.22	162.40	54.13
	13.63	13.70	163.70	163.05	54.33
	13.67	13.84	163.28	161.62	53.87
80	14.01	13.95	159.95	160.46	53.50
	13.84	13.90	161.62	161.04	53.67
	15.74	15.91	142.61	140.87	46.97
100	16.09	15.92	139.12	140.77	46.93
	15.91	15.92	140.87	140.82	46.93
	16.50	16.38	135.00	136.20	45.40
120	16.26	16.38	137.40	136.20	45.40
	16.38	16.38	136.20	136.20	45.40
					100.00

6. Capacidad de adsorción de los adsorbentes en función del tiempo para Plomo (II)

Tabla 6.1 Capacidad de adsorción en función del tiempo de MA para Pb (II)

t(minutos)	Cf(mg/L)	Cf *(mg/L)	q(mg/g)	q*(mg/g)	A%
0			0	0	
	6.69	10.02	233.10	199.80	66.60
4	6.71	9.99	232.90	200.10	66.70
	6.70	10.02	233.00	199.80	66.60
	3.94	2.97	260.60	270.30	90.10
6	3.95	3.00	260.50	270.00	90.00
	3.96	2.99	260.40	270.10	90.03
	2.92	2.76	270.80	272.40	90.80
12	2.94	2.80	270.60	272.00	90.67
	2.94	2.80	270.60	272.00	90.67
	3.21	2.18	267.90	278.20	92.73
22	3.23	2.19	267.70	278.10	92.70
	3.24	2.20	267.60	278.00	92.67
	1.84	1.78	281.60	282.20	94.07
32	1.85	1.70	281.50	283.00	94.33
	1.84	1.80	281.60	282.00	94.00
	1.74	1.58	282.60	284.20	94.73
40	1.72	1.60	282.80	284.00	94.67
	1.73	1.60	282.70	284.00	94.67
	1.98	1.43	280.20	285.70	95.23
60	2.00	1.44	280.00	285.60	95.20
	2.01	1.43	279.90	285.70	95.23
	1.23	1.29	287.70	287.10	95.70
120	1.24	1.29	287.60	287.10	95.70
	1.23	1.20	287.70	288.00	96.00
	1.45	1.25	285.50	287.50	95.83
400	1.47	1.24	285.30	287.60	95.87
	1.47	1.24	285.30	287.60	95.87
					100.00

Tabla 6.2 Capacidad de adsorción en función del tiempo de CB para Pb (II)

t(minutos)	Cf(mg/L)	Cf*(mg/L)	q(mg/g)	q*(mg/g)	A%
0			100	100	
	14.91	10.90	50.30	63.67	63.67
4	15.04	11.07	49.87	63.10	63.10
	15.10	11.05	49.67	63.17	63.17
	8.17	7.02	72.77	76.60	76.60
6	8.20	7.26	72.67	75.80	75.80
	8.18	7.29	72.73	75.70	75.70
	5.81	5.36	80.63	82.13	82.13
12	5.94	5.36	80.20	82.13	82.13
	5.90	5.40	80.33	82.00	82.00
	4.82	4.30	83.93	85.67	85.67
22	4.98	4.49	83.40	85.03	85.03
	5.00	4.53	83.33	84.90	84.90
	3.29	3.21	89.03	89.30	89.30
32	3.81	3.37	87.30	88.77	88.77
	3.78	3.41	87.40	88.63	88.63
	2.78	3.53	90.73	88.23	88.23
40	2.90	3.88	90.33	87.07	87.07
	2.90	3.92	90.33	86.93	86.93
	2.72	2.97	90.93	90.10	90.10
60	2.83	2.90	90.57	90.33	90.33
	2.88	2.89	90.40	90.37	90.37
	3.04	2.71	89.87	90.97	90.97
120	3.13	2.90	89.57	90.33	90.33
	3.19	2.91	89.37	90.30	90.30
	2.03	2.17	93.23	92.77	92.77
400	2.06	2.19	93.13	92.70	92.70
	2.03	2.20	93.23	92.67	92.67

Tabla 6.3 Capacidad de adsorción de EP en función del tiempo para plomo (II)

t(minutos)	Cf(mg/g)	Cf*(mg/g)	q(mg/L)	q*(mg/L)	A%
0			0	0	
	3.32	3.31	266.80	266.90	88.97
5	3.34	3.31	266.60	266.90	88.97
	3.33	3.31	266.70	266.90	88.97
	3.89	2.11	261.10	278.90	92.97
10	3.90	2.04	261.00	279.60	93.20
	3.90	2.08	261.05	279.25	93.07
	4.00	2.63	260.00	273.70	91.23
20	3.99	2.62	260.10	273.80	91.27
	4.00	2.63	260.05	273.75	91.23
	3.14	3.16	268.60	268.40	89.47
30	3.12	3.14	268.80	268.60	89.53
	3.13	3.15	268.70	268.50	89.50
	3.10	3.08	269.00	269.20	89.73
40	3.11	3.07	268.90	269.30	89.77
	3.11	3.08	268.95	269.25	89.73
	3.08	2.60	269.20	274.00	91.33
60	3.09	2.62	269.10	273.80	91.27
	3.09	2.61	269.15	273.90	91.30
	2.41	3.69	275.90	263.10	87.70
80	2.44	3.68	275.60	263.20	87.73
	2.43	3.69	275.75	263.15	87.70
	5.55	4.36	244.50	256.40	85.47
100	5.51	4.32	244.90	256.80	85.60
	5.53	4.34	244.70	256.60	85.53
	4.27	3.96	257.30	260.40	86.80
120	4.30	3.89	257.00	261.10	87.03
	4.29	3.93	257.15	260.75	86.90
					100.00

7. Parámetros de pseudo primer y segundo orden para cadmio

7.1 Parámetros pseudo primer y segundo orden de MA para cadmio

t (min)	Cf*(mg/L)	Cf**(mg/L)	q* (mg/g)	q** (mg/g)	ln(qe-q*)	ln(qe-q**)	t/q*	t/q**
0	0.00	0.00	0.00	0.00				
4	6.33	4.71	78.91	84.29	2.66	2.183	0.051	0.047
6	6.03	4.00	79.90	86.68	2.59	1.868	0.075	0.069
12	4.10	4.53	86.32	84.89	1.93	2.113	0.139	0.141
22	3.45	3.12	88.48	89.59	1.55	1.272	0.249	0.246
32	2.79	2.77	90.72	90.75	0.91	0.878	0.353	0.353
40	2.56	2.34	91.47	92.21	0.55	-0.048	0.437	0.434
60	2.25	2.14	92.51	92.88	-0.35	-1.273	0.649	0.646
120	2.04	1.82	93.21	93.92			1.287	1.278
400	2.72	2.05	90.93	93.16			4.399	4.294

7.2 Parámetros pseudo primer y segundo orden de CB para cadmio

t (min)	Cf*(mg/L)	Cf**(mg/L)	q* (mg/g)	q** (mg/g)	ln(qe-q*)	ln(qe-q**)	t/q*	t/q**
0	0.00	0.00	0.00	0.00				
4	15.25	14.70	49.18	51.01	3.32	3.203	0.081	0.078
6	10.12	9.28	66.26	69.05	2.36	1.883	0.091	0.087
12	8.69	7.84	71.03	73.87	1.76	0.558	0.169	0.162
22	9.34	8.61	68.86	71.30	2.08	1.463	0.320	0.309
32	9.13	8.59	69.56	71.38	1.99	1.444	0.460	0.448
40	7.88	7.59	73.74	74.71	1.14	-0.098	0.542	0.535
60	8.72	7.93	70.94	73.55	1.78	0.726	0.846	0.816
120	8.77	7.85	70.75	73.84	1.81	0.578	1.696	1.625
160	7.13	7.31	76.24	75.62			2.099	2.116
400	6.94	7.50	76.87	74.99			5.204	5.334

7.3 Parámetros pseudo primer y segundo orden de EP para cadmio

t (min)	Cf*(mg/L)	Cf**(mg/L)	q*(mg/g)	q** (mg/g)	ln(qe-q*)	ln(qe-q**)	t/q*	t/q**
0	0.00	0.00	0.00	0.00				
5	14.97	14.96	150.39	150.40	3.07	3.073	0.033	0.033
10	12.87	12.98	171.34	170.23	-0.41	0.574	0.058	0.059
20	14.18	14.16	158.23	158.47	2.62	2.605	0.126	0.126
30	15.43	15.42	145.71	145.79	3.27	3.266	0.206	0.206
40	16.71	16.70	132.93	133.02	3.67	3.663	0.301	0.301
60	13.63	13.70	163.70	163.05	2.12	2.192	0.367	0.368
80	13.84	13.90	161.62	161.04	2.34	2.394	0.495	0.497
100	15.92	15.92	140.87	140.82	3.44	3.440	0.710	0.710
120	16.38	16.38	136.20	136.20	3.58	3.578	0.881	0.881

8. Parámetros pseudo primer y segundo orden para plomo (II)

8.1 Parámetros pseudo primer y segundo orden de MA para plomo (II)

t (min)	Cf*(mg/L)	Cf**(mg/L)	q* (mg/g)	q**(mg/g)	ln(qe-q*)	ln(qe-q**)	t/q*	t/q*
0	0.00	0.00	0.00	0.00				
4	6.70	10.01	233.00	199.90	4.00	4.472	0.017	0.020
6	3.95	2.99	260.50	270.13	3.30	2.849	0.023	0.022
12	2.93	2.79	270.67	272.13	2.83	2.726	0.044	0.044
22	3.23	2.19	267.73	278.10	2.99	2.230	0.082	0.079
32	1.84	1.76	281.57	282.40	1.81	1.609	0.114	0.113
40	1.73	1.59	282.70	284.07	1.60	1.204	0.141	0.141
60	2.00	1.43	280.03	285.67	2.03	0.550	0.214	0.210
120	1.23	1.26	287.67	287.40			0.417	0.418
400	1.46	1.24	285.37	287.57			1.402	1.391

8.2 Parámetros pseudo primer y segundo orden de CB para plomo (II)

t (min)	Cf*(mg/L)	Cf**(mg/L)	q* (mg/g)	q**(mg/g)	ln(qe-q*)	ln(qe-q**)	t/q*	t/q**
0	0.00	0.00	0.00	0.00				
4	15.02	11.01	49.95	63.31	3.767	3.381	0.080	0.063
6	8.18	7.19	72.72	76.03	3.019	2.814	0.083	0.079
12	5.88	5.37	80.39	82.09	2.550	2.363	0.149	0.146
22	4.93	4.44	83.55	85.20	2.267	2.016	0.263	0.258
32	3.63	3.33	87.91	88.90	1.666	1.338	0.364	0.360
40	2.86	3.78	90.46	87.41	1.007	1.668	0.442	0.458
60	2.81	2.92	90.63	90.27	0.943	0.893	0.662	0.665
120	3.12	2.84	89.60	90.53	1.280	0.778	1.339	1.325
160	2.04	2.19	93.20	92.71	-5.704		1.717	1.726
400	6.94	7.50	76.87	74.99	2.793		5.204	5.334

8.3 Parámetros pseudo primer y segundo orden de EP para plomo (II)

t (min)	Cf *(mg/L)	Cf **(mg/L)	q* (mg/g)	q** (mg/g)	ln(qe-q*)	ln(qe-q**)	t/q*	t/q**
0	0.00	0.00	0.00	0.00				
5	3.33	3.31	266.70	266.90	2.23	2.573	0.019	0.019
10	3.90	2.08	261.05	279.25	2.70	-0.288	0.038	0.036
20	4.00	2.63	260.05	273.75	2.77	1.833	0.077	0.073
30	3.13	3.15	268.70	268.50	1.99	2.442	0.112	0.112
40	3.11	3.08	268.95	269.25	1.95	2.375	0.149	0.149
60	3.09	2.61	269.15	273.90	1.92	1.808	0.223	0.219
80	2.43	3.69	275.75	263.15	-1.39	2.824	0.290	0.304
100	5.53	4.34	244.70	256.60	3.44	3.153	0.409	0.390
120	4.29	3.93	257.15	260.75	2.94	2.958	0.467	0.460

9. isotermas de adsorción para Cd

Tabla 9.1 isotermas de adsorción de MA para Cadmio

ci(ppm)	ce (ppm)	qe(mg/g)	ce (ppm)	Ce/qe	lnce	lnqe
10	1.150	29.500	1.150	0.039	0.140	2.251
20	2.400	58.667	2.400	0.041	0.875	4.072
30	3.530	88.233	3.530	0.040	1.261	4.480
40	5.400	115.333	5.400	0.047	1.686	4.748
50	4.930	150.233	4.930	0.033	1.595	5.011
60	5.730	180.900	5.730	0.032	1.740	5.193

Tabla 9.2 isotermas de adsorción de CB para cadmio

ci(ppm)	ce (ppm)	qe(mg/g)	ce(ppm)	Ce/qe	lnce	lnqe
10	1.020	29.933	1.020	0.034	0.019	3.398
20	1.870	60.433	1.870	0.031	0.625	4.101
30	2.810	90.633	2.810	0.031	1.033	4.506
40	3.980	120.067	3.980	0.033	1.381	4.788
50	4.570	151.433	4.570	0.030	1.519	5.020
60	5.520	181.600	5.520	0.030	1.708	5.198

Tabla 9.3 isotermas de adsorción de EP para cadmio

ci(ppm)	ce (ppm)	qe(mg/g)	ce(ppm)	Ce/qe	lnce	lnqe
10	4.730	52.700	4.730	0.090	1.554	3.964
20	7.300	127.000	7.300	0.057	1.988	4.844
30	9.460	205.400	9.460	0.046	2.247	5.325

40	12.900	271.000	12.900	0.048	2.557	5.602
50	19.540	304.600	19.540	0.064	2.972	5.718
60	23.940	360.600	23.940	0.066	3.170	5.887

10. isotermas de adsorción para Pb (II)

Tabla 10.1 isotermas de adsorción de MA para Pb (II)

	ce					
ci(ppm)	(ppm)	qe(mg/g)	ce(ppm)	ce/qe	lnce	lnqe
10	0.330	32.233	0.330	0.010	-1.108	3.473
20	0.480	65.067	0.480	0.007	-0.734	4.175
30	0.950	96.833	0.950	0.010	-0.051	4.573
40	1.210	129.300	1.210	0.009	0.191	4.862
50	1.230	162.567	1.230	0.008	0.207	5.091
60	1.780	194.067	1.780	0.009	0.577	5.268

Tabla 10.2 isotermas de adsorción de EB para Pb (II)

ci(ppm)	ce(ppm)	qe(mg/g)	ce(ppm)	ce/qe	lnce	lnqe
10	0.230	32.567	0.230	0.007	-1.470	3.483
20	0.290	65.700	0.290	0.004	-1.238	4.185
30	0.340	98.867	0.340	0.003	-1.079	4.593
40	0.830	130.567	0.830	0.006	-0.186	4.872
50	1.160	162.800	1.160	0.007	0.148	5.093
60	1.650	194.500	1.650	0.008	0.500	5.270

Tabla 10.3 isotermas de adsorción de EP para Pb (II)

ci(ppm)	ce(ppm)	qe(mg/g)	ce(ppm)	ce/qe	lnce	lnqe
10	0.540	94.600	0.540	0.006	-0.616	4.550
20	1.650	183.500	1.650	0.009	0.500	5.212
30	4.950	250.500	4.950	0.020	1.599	5.523
40	8.280	317.200	8.280	0.026	2.113	5.760
50	12.340	376.600	12.340	0.033	2.512	5.931
60	17.640	423.600	17.640	0.042	2.870	6.047

II. Panel fotográfico



EP

CB

MA

Foto 1. Recolección de muestra estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP),

Clinopodium bolivianum (CB) y *Minthostachys acris* (MA)



EP

CB

MA

Foto 2. Biomosas recolectadas y el proceso de secado en laboratorio



EP

CB

MA

Foto 3. Biomosas secas, limpias y molidas



Foto 4. Extracción de clorofila de MA y CB por el método de shoclet



Foto 5 Tratamiento ácido -básico de los estípites de *Pleurotus spp* cultivado (EP)



Foto 6. Bioadsorbentes obtenidos MA, CB y EP para ser utilizados en todos los procesos de adsorción



Foto 7. Proceso de determinación la capacidad de adsorción de los bioadsorbentes por el método de lotes



Foto 8 Muestras filtradas de las soluciones acuosas de Pb (II) y Cd para el análisis por absorción atómica



Foto 9 Recolección de muestras de aguas residuales del laboratorio químico de servicios de espectroscopia y cromatografía de la UNSAAC



Foto 10. Preparación de las aguas residuales del laboratorio químico de servicios de espectroscopia y cromatografía de la UNSAAC.

III Resultados experimentales emitidos por los diferentes Análisis por absorción atómica

III.1 Resultados de absorción atómica

III.1.1 Resultados para cadmio

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad
AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 97380085

RESULTADOS Cusco, 26 de Julio del 2023

Solicitantes : Rosana Leonor Aranzábal Carrasco
Tipo de Análisis : Determinación de Cadmio y Plomo por Absorción Atómica
Tipo de Muestras : Líquido, en frascos ámbar
Cantidad de Muestra: 241 para cadmio y 217 para Plomo, con 20mL de cada uno
Almacenamiento : 4 °C.

Determinación de Cadmio

CODIGO	Cd(A)/ppm	Cd(B)/ppm	CODIGO	Cd(A)/ppm	Cd(B)/ppm
1 CBCdM1	22.37	22.27	1 MACdM1	21.03	21.95
2 CBCdM1	22.21	22.31	2 MACdM1	21.63	22.15
3 CBCdM1	22.2	22.29	3 MACdM1	20.94	22.29
4 CBCdM2	13.94	13.11	4 MACdM2	12.5	11.97
5 CBCdM2	14.25	13.35	5 MACdM2	12.67	12.16
6 CBCdM2	14.16	13.4	6 MACdM2	12.69	12.26
7 CBCdM3	8.17	7.41	7 MACdM3	8.49	10.71
8 CBCdM3	7.98	7.63	8 MACdM3	8.5	10.87
9 CBCdM3	8.31	7.5	9 MACdM3	8.42	10.89
10 CBCdM4	7.26	4.37	10 MACdM4	6.67	7.58
11 CBCdM4	7.4	4.55	11 MACdM4	6.84	7.54
12 CBCdM4	7.37	4.46	12 MACdM4	6.26	7.73
13 CBCdM5	2.69	2.18	13 MACdM5	2.69	2.18
14 CBCdM5	2.64	2.24	14 MACdM5	2.69	2.24
15 CBCdM5	2.69	2.21	15 MACdM5	2.64	2.21
16 CBCdM6	3.63	3.91	16 MACdM6	4.71	4.18
17 CBCdM6	3.52	3.95	17 MACdM6	4.84	4.12
18 CBCdM6	3.7	3.71	18 MACdM6	4.66	4.26
19 CBCdM7	3.0	4.93	19 MACdM7	4.75	3.48
20 CBCdM7	3.16	4.76	20 MACdM7	4.71	3.45
21 CBCdM7	3.37	4.88	21 MACdM7	4.59	3.24

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Cadmio presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 228.8 nm (Cadmio)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (línea)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5



Dulcinea Jorge Chiquenaia Part
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNAAAC
CQP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Cd(A)ppm	Cd(B)ppm	CODIGO	Cd(A)ppm	Cd(B)ppm		
1	EPCdM1	18.02	15.79	1	pH2 MACd	27.44	26.88
2	EPCdM1	17.86	16.23	2	pH2MACd	27.56	26.86
3	EPCdM1	17.94	16.01	3	pH2MACd	27.49	26.95
4	EPCdM2	16.94	15.66	4	pH3 MACd	4.65	3.97
5	EPCdM2	17.0	15.83	5	pH3 MACd	4.77	3.88
6	EPCdM2	16.97	15.75	6	pH3MACd	4.9	3.96
7	EPCdM3	15.71	16.31	7	pH4 MACd	3.09	3.05
8	EPCdM3	16.03	16.19	8	pH4MACd	3.27	2.77
9	EPCdM3	15.87	16.25	9	pH 4MACd	3.09	2.88
10	EPCdM4	15.95	14.55	10	pH5MACd	3.08	2.73
11	EPCdM4	15.17	14.84	11	pH5MACd	3.18	2.73
12	EPCdM4	15.56	14.7	12	pH5M ACd	3.03	2.61
13	EPCdM5	15.17	13.63	13	pH6M ACd	2.69	2.18
14	EPCdM5	15.48	13.62	14	pH6MACd	2.69	2.24
15	EPCdM5	15.33	13.63	15	pH6MACd	2.64	2.21
16	EPCdM6	15.47	13.8	16	pH7 MACd	2.9	2.74
17	EPCdM6	15.66	13.87	17	pH7MACd	2.84	2.73
18	EPCdM6	15.57	13.84	18	pH 7 MACd	2.9	2.76

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Cadmio presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 228.8 nm (Cadmio)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (llama)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5




Quirico, Jorge Chiquena Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectroscopia - UNSAAC.
CDP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Cd(A)ppm	Cd(B)ppm	CODIGO	Cd(A)ppm	Cd(B)ppm
1 pH2CBCd	25.5	25.29	1 pH2 EPCd	28.15	27.53
2 pH2CBCd	25.48	25.45	2 pH2EPCd	27.89	27.52
3 pH2CBCd	25.54	25.37	3 pH2EPCd	28.02	27.53
4 pH3 CBCd	4.28	4.4	4 pH3 EPCd	25.28	21.31
5 pH3CBCd	4.39	4.52	5 pH3EPCd	25.25	21.27
6 pH3CBCd	4.45	4.51	6 pH3EPCd	25.26	21.29
7 pH4 CBCd	2.35	3.02	7 pH4 EPCd	19.99	17.15
8 pH4CBCd	2.16	2.88	8 pH4EPCd	20.04	17.28
9 pH4CBCd	2.29	3.11	9 pH4EPCd	20.01	17.21
10 pH5CBCd	1.84	2.15	10 pH5EPCd	17.77	12.37
11 pH5CBCd	2.05	2.06	11 pH5EPCd	18.0	12.67
12 pH5CBCd	2.04	2.21	12 pH5EPCd	17.88	12.52
13 pH6 CBCd	2.23	2.36	13 pH6EPCd	13.38	12.68
14 pH6CBCd	2.29	2.28	14 pH6EPCd	13.51	12.91
15 pH6CBCd	1.76	2.41	15 pH6EPCd	13.44	12.79
16 pH7 CBCd	1.74	1.68	16 pH7 EPCd	13.51	10.02
17 pH7CB Cd	1.92	2.03	17 pH7 EPCd	13.76	10.19
18 pH7CBCd	1.85	1.94	18 pH7EPCd	13.64	10.1

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Cadmio presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 228.8 nm (Cadmio)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (llama)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5



Químico. Jorge Chiquenaia Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - LNSAAC.
CQP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Cd(A)/ppm	Cd(B)/ppm	CODIGO	Cd(A)/ppm	Cd(B)/ppm
1 MA1-Cd	6.25	4.75	1 CB1-Cd	15.34	14.36
2 MA1-Cd	6.38	4.66	2 CB1-Cd	15.2	15.04
3 MA1-Cd	6.35	4.73	3 CB1-Cd	15.2	14.7
4 MA2-Cd	5.98	3.96	4 CB2-Cd	10.06	9.06
5 MA2-Cd	6.04	4.12	5 CB2-Cd	10.12	9.41
6 MA2-Cd	6.07	3.91	6 CB2-Cd	10.18	9.39
7 MA3-Cd	4.14	4.51	7 CB3-Cd	8.73	7.85
8 MA3 Cd	4.39	4.48	8 CB3 Cd	8.68	7.94
9 MA3Cd	3.78	4.6	9 CB3Cd	8.68	7.82
10 MA4-Cd	3.44	3.32	10 CB4-Cd	8.66	8.49
11 MA4-Cd	3.43	3.14	11 CB4-Cd	9.75	8.69
12 MA4-Cd	3.49	2.91	12 CB4-Cd	9.62	8.65
13 MA5-Cd	2.94	2.71	13 CB5-Cd	9.12	8.35
14 MA5-Cd	2.73	2.83	14 H5-Cd	9.22	8.67
15 MA5-Cd	2.69	2.78	15 CB5-Cd	9.06	8.74
16 MA6-Cd	2.52	2.14	16 CB6-Cd	7.9	7.49
17 MA6-Cd	2.52	2.39	17 CB6-Cd	7.91	7.72
18 MA6-Cd	2.64	2.48	18 CB6-Cd	7.82	7.55
19 MA7-Cd	2.21	2.13	19 CB7-Cd	8.75	7.74
20 MA7-Cd	2.29	2.13	20 CB7-Cd	8.75	8.02
21 MA7-Cd	2.25	2.15	21 CB7-Cd	8.65	8.04
22 MA8-Cd	2.14	1.74	22 CB8-Cd	8.7	7.85
23 MA8-Cd	2.0	1.98	23 CB8-Cd	8.58	7.83
24 MA8-Cd	1.98	1.75	24 CB8-Cd	9.04	7.87
25 MA9-Cd	2.74	2.06	25 CB9-Cd	7.18	7.37
26 MA9-Cd	2.62	1.98	26 CB9-Cd	7.09	7.21
27 MA9-Cd	2.81	2.11	27 CB9-Cd	7.13	7.36
			28 CB10-Cd	6.81	7.41
			29 CB10-Cd	7.07	7.6
			30 CB10-Cd	6.94	7.5

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Cadmio presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 228.8 nm (Cadmio)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (línea)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5





RESULTADOS

CODIGO	Cd(A)ppm	Cd(B)ppm	CODIGO	Cd ppm		
1	EP1-Cd	14.74	14.96	1	MA1-Cd	1.15
2	EP1-Cd	15.19	14.96	2	MA2-Cd	2.4
3	EP1-Cd	14.96	14.96	3	MA3-Cd	3.53
4	EP2-cd	12.7	12.87	4	MA4-Cd	5.4
5	EP2-cd	13.04	13.09	5	MA5-Cd	4.93
6	EP2-cd	12.87	12.98	6	MA6-Cd	5.73
7	EP3-cd	14.04	14.18	7	CB1-Cd	1.02
8	EP3-cd	14.32	14.13	8	CB2-Cd	1.87
9	EP3-cd	14.18	14.15	9	CB3-Cd	2.81
10	EP4-Cd	15.27	15.44	10	CB4-Cd	3.98
11	EP4-Cd	15.59	15.4	11	CB5-Cd	4.57
12	EP4-Cd	15.43	15.42	12	CB6-Cd	5.52
13	EP5-Cd	16.53	16.71	13	EP1-Cd	4.73
14	EP5-Cd	16.89	16.89	14	EP2-Cd	7.3
15	EP5-Cd	16.71	16.7	15	EP3-Cd	9.46
16	EP6-Cd	13.78	13.63	16	EP4-Cd	12.9
17	EP6-Cd	13.48	13.76	17	EP5-Cd	19.54
18	EP6-Cd	13.63	13.7	18	EP6-Cd	23.94
19	EP7-Cd	13.67	13.84			
20	EP7-Cd	14.01	13.95			
21	EP7-Cd	13.94	13.9			
22	EP8-Cd	15.74	15.91			
23	EP8-Cd	16.09	15.92			
24	EP8-Cd	15.91	15.92			
25	EP9-Cd	16.5	16.38			
26	EP9-Cd	16.26	16.38			
27	EP9-Cd	16.38	16.38			

CODIGO	Cd ppm	
1	LBF-Cd	4.37
2	LBF-Cd MA	2.01
3	LBF-Cd CB	2.56
4	LBF-Cd EP	3.46

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Cadmio presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectraAA Varian AA240FS)

Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 228.8 nm (Cadmio)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (línea)
Software de Control : SpectraAA
Lecturas por Muestra : 5




Quirico, Jorge Chiquenaire Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC,
CDP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Cd(A)ppm	Cd(B)ppm	
1	CB-CdM1	22.37	22.27
2	CB-CdM1	22.21	22.31
3	CB-CdM1	22.2	22.29
4	CB-CdM2	13.94	13.11
5	CB-CdM2	14.25	13.35
6	CB-CdM2	14.16	13.4
7	CB-CdM3	8.17	7.41
8	CB-CdM3	7.98	7.63
9	CB-CdM3	8.31	7.6
10	CB-CdM4	7.26	4.37
11	CB-CdM4	7.4	4.55
12	CB-CdM4	7.37	4.46
13	CB-CdM5	2.69	2.18
14	CB-CdM5	2.64	2.24
15	CB-CdM5	2.69	2.21
16	CB-CdM6	3.63	3.91
17	CB-CdM6	3.52	3.95
18	CB-CdM6	3.7	3.71
19	CB-CdM7	3	4.93
20	CB-CdM7	3.16	4.76
21	CB-CdM7	3.37	4.88

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Cadmio presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 228.8 nm (Cadmio)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (flama)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5




Químico, Jorge Chiquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
DGP - 914

III.1.2 Resultados para plomo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA - Pabellón de Control de Calidad
 Av. De la Cultura 733 CUSCO-PERU Contacto: 973889955

RESULTADOS

Determinación de Plomo

	CODIGO	Pb(A)ppm	Pb(B)ppm		CODIGO	Pb(A)ppm	Pb(B)ppm
1	CB-PbM1	18.13	18.1	1	MA-Pb M1	12.64	10.08
2	CB-PbM1	18.15	18.16	2	MA-PbM1	12.32	10.44
3	CB-PbM1	18.1	18.19	3	MA-PbM1	12.71	10.48
4	CB-PbM2	7.33	7.66	4	MA-PbM2	2.02	2.02
5	CB-PbM2	7.33	7.66	5	MA-PbM2	2.14	2.16
6	CB-PbM2	7.35	7.66	6	MA-PbM2	2.19	2.22
7	CB-PbM3	4.71	4.39	7	MA-PbM3	1.57	1.18
8	CB-PbM3	4.71	4.34	8	MA-PbM3	1.68	1.27
9	CB-PbM3	4.71	4.36	9	MA-PbM3	1.73	1.26
10	CBPbM4	3.04	2.28	10	MAPbM4	0.93	0.73
11	CBPbM4	3.0	2.31	11	MAPbM4	0.98	0.77
12	CBPbM4	3.03	2.3	12	MAPbM4	0.99	0.68
13	CBPbM5	1.3	1.31	13	MAPbM5	1.83	1.51
14	CBPbM5	1.32	1.32	14	MAPbM5	1.78	1.54
15	CBPbM5	1.52	1.53	15	MAPbM5	1.84	1.55
16	CBPbM6	1.47	1.22	16	MAPbM6	1.03	1.83
17	CBPbM6	1.5	1.22	17	MAPbM6	1.08	1.88
18	CBPbM6	1.49	1.23	18	MAPbM6	1.1	1.91
19	CBPbM7	1.62	1.58				
20	CBPbM7	1.6	1.57				
21	CBPbM7	1.6	1.58				

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Plomo presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
 Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
 Longitud de Onda : 217.0 nm (Plomo)
 Corrección de Fondo : Activado.
 Modo de medición : Absorbancia (flama)
 Software de Control : SpectrAA
 Lecturas por Muestra : 5



[Signature]
 Químico, Jorge Chiquena Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría - UNSAAC,
 QCP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Pb(A)/ppm	Pb(B)/ppm	CODIGO	Pb(A)/ppm	Pb(B)/ppm
1 EP-PbM1	11.05	9.89	1 pH2MA- Pb	7.11	6.47
2 EP-PbM1	11.54	10.11	2 pH2MA- Pb	7.12	6.46
3 EP-PbM1	11.3	10.0	3 pH2MA- Pb	7.14	6.47
4 EP-PbM2	5.96	6.9	4 pH3 MA-Pb	1.78	1.51
5 EP-PbM2	6.37	7.6	5 pH3 MA-Pb	1.83	1.54
6 EP-PbM2	6.17	7.25	6 pH3 MA- Pb	1.84	1.55
7 EP-PbM3	4.45	5.01	7 pH3.5 MAPb	2.67	3.31
8 EP-PbM3	4.88	5.0	8 pH3.5MAPb	2.79	3.38
9 EP-PbM3	4.67	5.01	9 pH 3.5MAPb	2.75	3.41
10 EPPbM4	5.81	7.09	10 pH4MAPb	2.35	3.03
11 EPPbM4	6.28	7.16	11 pH4MAPb	2.42	3.12
12 EPPbM4	6.05	7.13	12 pH4MAPb	2.43	3.14
13 EPPbM5	4.26	4.6	13 pH4.5MAPb	4.8	4.18
14 EPPbM5	4.61	5.02	14 pH4.5MAPb	4.93	4.3
15 EPPbM5	4.44	4.81	15 pH4.5MAPb	4.94	4.34
16 EPPbM6	3.36	4.5	16 pH5 MAPb	3.52	3.92
17 EPPbM6	3.63	5.01	17 pH5MAPb	3.6	4.02
18 EPPbM6	3.5	4.76	18 pH5MAPb	3.63	4.05

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Plomo presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)

Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 217.0 nm (Plomo)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (Itama)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5



Químico: Jorge Chiquenaire Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
GGP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Pb(A)/ppm	Pb(B)/ppm	CODIGO	Pb(A)/ppm	Pb(B)/ppm		
1	pH2 CB-Pb	5.4	3.93	1	pH 2EP-Pb	26.67	25.59
2	pH2CB-Pb	5.82	3.96	2	pH2EP-Pb	26.64	25.44
3	pH2CB -Pb	5.91	3.99	3	pH2EP-Pb	26.66	25.52
4	pH3 CB-Pb	1.32	1.31	4	pH2.5EP-Pb	20.81	19.4
5	pH3CB-Pb	1.3	1.31	5	pH2.5EP-Pb	20.74	19.56
6	pH3CB- Pb	1.32	1.32	6	pH2.5EP-Pb	20.78	19.48
7	pH4CB-Pb	1.52	1.53	7	pH3 EP-Pb	9.62	12.15
8	pH4CB-Pb	1.57	1.59	8	pH3EP-Pb	9.88	12.41
9	pH 4CB-Pb	1.54	1.61	9	pH3EP-Pb	9.75	12.28
10	pH5CBPb	1.53	1.56	10	pH3.5 EP-Pb	8.32	8.75
11	pH5CBPb	1.59	1.57	11	pH3.5EP-Pb	8.68	9.12
12	pH5CBPb	1.61	1.51	12	pH 3.5EP-Pb	8.5	8.94
13	pH6CBPb	1.48	1.69	13	pH4EP -Pb	7.65	9.45
14	pH6CBPb	1.53	1.76	14	pH4EP-Pb	8.09	9.77
15	pH6CBPb	1.54	1.77	15	pH4EP -Pb	7.87	9.61
16	pH7 CBPb	1.88	1.91	16	pH4.5EP -Pb	6.7	6.58
17	pH7CBPb	1.9	1.98	17	pH4.5EP-Pb	7.13	6.93
18	pH 7CBPb	1.88	1.99	18	pH4.5EP-Pb	6.92	6.76
				19	pH5 EP- Pb	3.57	4.77
				20	pH5EP- Pb	3.97	4.56
				21	pH 5 EP- Pb	3.77	4.67

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Plomo presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)

Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 217.0 nm (Plomo)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (línea)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5



Químico, Jorge Chiquenaire Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CGP - 914



RESULTADOS

CODIGO	Pb(A) ppm	Pb(B) ppm	CODIGO	Pb(A) ppm	Pb(B) ppm		
1	MA1-Pb	6.69	10.02	1	CB1-Pb	14.91	10.9
2	MA1-Pb	6.71	9.99	2	CB1-Pb	15.04	11.07
3	MA1-Pb	6.7	10.02	3	CB1-Pb	15.1	11.05
4	MA2-Pb	3.94	2.97	4	CB2-Pb	8.17	7.02
5	MA2-Pb	3.95	3.0	5	CB2-Pb	8.2	7.26
6	MA2-Pb	3.96	2.99	6	CB2-Pb	8.18	7.29
7	MA2-Pb	2.92	2.76	7	CB3-Pb	5.81	5.36
8	MA3-Pb	2.94	2.8	8	CB3-Pb	5.94	5.36
9	MA3-Pb	2.94	2.8	9	CB3-Pb	5.9	5.4
10	MA4-Pb	3.21	2.18	10	CB4-Pb	4.82	4.3
11	MA4-Pb	3.23	2.19	11	CB4-Pb	4.98	4.49
12	MA4-Pb	3.24	2.2	12	CB4-Pb	5.0	4.53
13	MA5-Pb	1.84	1.78	13	CB5-Pb	3.29	3.21
14	MA5-Pb	1.85	1.7	14	CB5-Pb	3.81	3.37
15	MA5-Pb	1.84	1.8	15	CB5-Pb	3.78	3.41
16	MA6-Pb	1.74	1.58	16	CB6-Pb	2.78	3.53
17	MA6-Pb	1.72	1.6	17	CB6-Pb	2.9	3.88
18	MA6-Pb	1.73	1.6	18	CB6-Pb	2.9	3.92
19	MA7-Pb	1.98	1.43	19	CB7-Pb	2.72	2.97
20	MA7-Pb	2.0	1.44	20	CB7-Pb	2.83	2.9
21	MA7-Pb	2.01	1.43	21	CB7-Pb	2.88	2.89
22	MA8-Pb	1.23	1.29	22	CB8-Pb	3.04	2.71
23	MA8-Pb	1.24	1.29	23	CB8-Pb	3.13	2.9
24	MA8-Pb	1.23	1.2	24	CB8-Pb	3.19	2.91
25	MA9-Pb	1.45	1.25	25	CB9-Pb	2.03	2.17
26	MA9-Pb	1.47	1.24	26	CB9-Pb	2.06	2.19
27	MA9-Pb	1.47	1.24	27	CB9-Pb	2.03	2.2

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Plomo presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 217.0 nm (Plomo)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (llama)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5



Quirico Jorge Chiquenaire Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914



RESULTADOS

	CODIGO	Pb(A)ppm	Pb(B)ppm
1	EP1 -Pb	3.32	3.31
2	EP1-Pb	3.34	3.31
3	EP1-Pb	3.33	3.31
4	EP2-Pb	3.89	2.11
5	EP2-Pb	3.9	2.04
6	EP2-Pb	3.9	2.08
7	EP3-Pb	4.0	2.63
8	EP3-Pb	3.99	2.62
9	EP3-Pb	4.0	2.63
10	EP4-Pb	3.14	3.16
11	EP4-Pb	3.12	3.14
12	EP4-Pb	3.13	3.15
13	EP5-Pb	3.1	3.08
14	EP5-Pb	3.11	3.07
15	EP5-Pb	3.11	3.08
16	EP6-Pb	3.08	2.6
17	EP6-Pb	3.09	2.62
18	EP6-Pb	3.09	2.61
19	EP7-Pb	2.41	3.69
20	EP7-Pb	2.44	3.68
21	EP7-Pb	2.43	3.69
22	EP8-Pb	5.55	4.36
23	EP8-Pb	5.51	4.32
24	EP8-Pb	5.53	4.34
25	EP9-Pb	4.27	3.96
26	EP9-Pb	4.3	3.89
27	EP9-Pb	4.29	3.93

	CODIGO	Pb ppm
1	MA1-Pb	0.33
2	MA2-Pb	0.48
3	MA3- Pb	0.96
4	MA4- Pb	1.21
5	MA5- Pb	1.23
6	MA6-Pb	1.78
7	CB1-Pb	0.23
8	CB2- Pb	0.29
9	CB3 -Pb	0.34
10	CB4- Pb	0.83
11	CB5-Pb	1.16
12	CB6- Pb	1.66
13	EP1-Pb	0.54
14	EP2-Pb	1.66
15	EP3-Pb	4.96
16	EP4-Pb	8.28
17	EP5- Pb	12.34
18	EP6 -Pb	17.64

	CODIGO	Pb ppm
1	LBF- Pb	6.94
2	LBF- Pb MA	0.98
3	LBF-Pb CB	0.72
4	LBF-Pb EP	4.36

Nota: Los resultados obtenidos son el promedio de 5 lecturas, expresa las ppm de Plomo presentes en la muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro (SpectrAA Varian AA240FS)
Equipo : Espectrofotómetro Absorción Atómica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 217.0 nm (Plomo)
Corrección de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorbancia (línea)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 5




Químico, Jorge Chiquensira Pani
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 314

III.2 Resultados de análisis por fluorescencia de RX

Date	Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	Mg	Mg +/-	Al	Al +/-	Si	Si +/-	P	P +/-	S	S +/-	K	K +/-
2/05/2022	11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							10098.98	1146.65	971.15	235.46	10656.2	111.58	5642.03	52.52	4113.02	29.72	1704.78	63.28
2/05/2022	11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	24615.57	2422.43	3613.54	585.05	26052.59	275.13	4215.81	78.56	3433.91	48.04	6116.78	336.16
2/05/2022	11:22:59	#6-2	Geochem	24.76	29.85	54.61	1A	CB-puro	molida	20559.46	2398.76	2794	581.9	25924.48	275.31	4162.17	78.42	3453.3	48.24	6433.61	339.67
2/05/2022	11:22:59	#6-Avg(2)	Geochem							22587.36	2411.09	3203.77	583.47	25988.53	275.22	4188.99	78.40	3443.6	48.14	6429.2	337.90
2/05/2022	11:26:53	#7-1	Geochem	24.47	29.99	54.46	2A	EP - Puro	molido estipete	18670.01	2064.09	2129.59	263.46	21253.75	218.59	1289.82	44.68	2769.67	37.8	806.73	23.75
2/05/2022	11:27:54	#7-2	Geochem	24.52	30.29	54.81	2A	EP - Puro	molido estipete	18242.18	2063	2766.56	273.78	20924.3	213.75	1327.27	45.16	2713.1	37.67	705.12	23.41
2/05/2022	11:27:54	#7-Avg(2)	Geochem							18456.1	2063.54	2448.08	268.62	21089.03	218.04	1308.55	44.92	2741.39	37.73	755.93	23.58
2/05/2022	11:30:34	#8-1	Geochem	24.4	30.01	54.41	3A	EP - contaminados	molido estipete	13998.15	1882.12	2440.72	256.49	19228.43	198.74	1125.65	39.67	3791.92	40.26	1935.18	26.52
2/05/2022	11:31:36	#8-2	Geochem	25.1	30.6	55.7	3A	EP - contaminados	molido estipete	12676.37	1904.94	3061.09	269.91	19503.62	202.34	1064.09	39.87	3777.21	40.82	1897.58	26.94
2/05/2022	11:31:36	#8-Avg(2)	Geochem							13337.26	1893.53	2750.9	263.2	19366.03	200.54	1094.87	39.77	3784.56	40.54	1916.38	26.78
2/05/2022	11:33:52	#9-1	Geochem	24.68	29.76	54.44	5A	MA-pura	molido	21138.88	1927.25	3226.68	483.36	20787.3	214.47	3901.61	67.08	2645.5	36.93	5490.47	253.68
2/05/2022	11:34:52	#9-2	Geochem	25.19	29.81	55	5A	MA-pura	molido	19591.48	1900.09	3057.8	478.96	20919.46	213.9	3762.53	65.84	2595.92	36.46	4850.34	249.05
2/05/2022	11:34:52	#9-Avg(2)	Geochem							20340.17	1913.67	3142.24	481.16	20863.38	214.19	3833.07	66.46	2620.71	36.7	5471.4	251.37
2/05/2022	11:37:08	#10-1	Geochem	24.69	29.86	54.55	7A	CB - contaminada	molida	21693.38	2502.91	4563.9	451.5	26273.32	285.06	2205.17	69.01	6894.52	68.1	8861.72	120.49
2/05/2022	11:38:08	#10-2	Geochem	24.75	29.84	54.6	7A	CB - contaminada	molida	18953.88	2485.64	2846.97	436.37	26878.21	288.4	2282.74	69.66	6954.04	68.4	8938.64	123.43
2/05/2022	11:38:08	#10-Avg(2)	Geochem							20316.61	2494.28	3705.44	443.93	26575.82	286.73	2243.96	69.33	6924.28	68.25	9089.97	121.96
2/05/2022	11:40:56	#11-1	Geochem	24.64	29.84	54.48	9A	MA - contaminada	molido	20564.87	2162.73	3329.42	421.1	22623	240.97	2665.96	64.28	5298.24	53.67	25031.9	137.62
2/05/2022	11:41:57	#11-2	Geochem	24.69	30.35	55.04	9A	MA - contaminada	molido	16743.21	2208.07	3158.03	425.94	21983.47	241.26	2362.91	63.02	5061.35	53.49	9555.14	138.44
2/05/2022	11:41:57	#11-Avg(2)	Geochem							18454.03	2185.4	3243.72	423.52	22303.24	241.11	2514.43	63.65	5179.79	53.58	24791.67	138.08
2/05/2022	11:46:38	#12-1	Geochem	24.1	29.75	53.85	Bolsa	Polietileno	bolsa	5938.03	724.23	1254.89	98.04	9690.18	83.26	234.74	12.03	159.31	8.26	398.41	7.88
2/05/2022	11:47:38	#12-2	Geochem	22.99	30.25	53.24	Bolsa	Polietileno	bolsa	6270.72	754.77	1345.11	102.26	9908.84	85.39	245.72	12.52	157.42	8.56	414.85	6.92
2/05/2022	11:47:39	#12-Avg(2)	Geochem							6104.37	739.5	1300	100.15	9799.51	84.32	240.23	12.28	158.37	8.41	406.63	8.04

Date	Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	Ca	Ca +/-	Ti	Ti +/-	V	V +/-	Cr	Cr +/-	Mn	Mn +/-	Fe	Fe +/-	Co	Co +/-
2/05/2022	11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							4332.18	25.77	<LOD	1415.61	<LOD	104.22	<LOD	56.4	<LOD	4092.78	135.85	6.61	<LOD	24.84
2/05/2022	11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	45679.9	2505.11	442.31	69.73	<LOD	256.97	<LOD	121.7	108	14.08	3318.24	29.19	<LOD	84.55
2/05/2022	11:22:59	#6-2	Geochem	24.76	29.85	54.61	1A	CB-puro	molida	46079.72	254.05	439.3	70.26	<LOD	260.38	<LOD	119.49	109.67	14.16	1934.9	29.62	<LOD	86.19
2/05/2022	11:22:59	#6-Avg(2)	Geochem							45854.81	252.28	440.8	69.99	<LOD	258.67	<LOD	120.59	108.83	14.12	1336.07	29.4	<LOD	85.37
2/05/2022	11:26:53	#7-1	Geochem	24.47	29.99	54.46	2A	EP - Puro	molido estipete	7896.59	46.38	<LOD	2420.59	<LOD	130.75	<LOD	69.13	<LOD	6518.03	556.89	14.16	<LOD	45.59
2/05/2022	11:27:54	#7-2	Geochem	24.52	30.29	54.81	2A	EP - Puro	molido estipete	7846.19	45.99	<LOD	2459.74	<LOD	137.17	<LOD	73.5	<LOD	6642.27	593.82	14.47	<LOD	45.12
2/05/2022	11:27:54	#7-Avg(2)	Geochem							7908.13	46.19	<LOD	2440.17	<LOD	133.96	<LOD	71.42	<LOD	6580.15	575.35	14.33	<LOD	45.35
2/05/2022	11:30:34	#8-1	Geochem	24.4	30.01	54.41	3A	EP - contaminados	molido estipete	4935.62	30.88	<LOD	2695.14	<LOD	133.24	<LOD	68.84	<LOD	7265.54	539.48	13.35	<LOD	41.93
2/05/2022	11:31:36	#8-2	Geochem	25.1	30.6	55.7	3A	EP - contaminados	molido estipete	4478.57	31.98	<LOD	2742.82	<LOD	133.65	<LOD	68.55	<LOD	7416.78	517.29	13.2	<LOD	41.61
2/05/2022	11:31:36	#8-Avg(2)	Geochem							4392.09	31.43	<LOD	2718.98	<LOD	128.44	<LOD	68.69	<LOD	7341.16	528.38	13.27	<LOD	41.77
2/05/2022	11:33:52	#9-1	Geochem	24.68	29.76	54.44	5A	MA-pura	molido	60559.58	280.34	<LOD	807.94	<LOD	211.62	<LOD	102.59	205.45	14.49	3751.43	29.97	<LOD	87.98
2/05/2022	11:34:52	#9-2	Geochem	25.19	29.81	55	5A	MA-pura	molido	60969.17	276.38	<LOD	803.5	<LOD	213.03	<LOD	97.62	186.56	13.87	1833.2	30.2	<LOD	87.23
2/05/2022	11:34:52	#9-Avg(2)	Geochem							6064.38	278.36	<LOD	806.72	<LOD	212.33	<LOD	100.11	196.01	14.18	1792.31	30.09	<LOD	87.6
2/05/2022	11:37:08	#10-1	Geochem	24.69	29.86	54.55	7A	CB - contaminada	molida	55702.4	309.33	342.35	67.59	<LOD	249.33	<LOD	115.7	109.65	14.01	2548.83	28.51	<LOD	77.73
2/05/2022	11:38:08	#10-2	Geochem	24.75	29.84	54.6	7A	CB - contaminada	molida	55989.8	317.26	217.57	64.9	<LOD	242.57	<LOD	113.29	105.82	13.85	1921.07	28.99	<LOD	81.39
2/05/2022	11:38:08	#10-Avg(2)	Geochem							56392.5	313.3	279.93	66.24	<LOD	245.95	<LOD	114.49	107.75	13.92	2272.95	28.72	<LOD	79.56
2/05/2022	11:40:56	#11-1	Geochem	24.64	29.84	54.48	9A	MA - contaminada	molido	47284.27	240.57	<LOD	1110.03	<LOD	214.67	<LOD	97.52	115.54	12.67	1993.58	27.26	<LOD	78.32
2/05/2022	11:41:57	#11-2	Geochem	24.69	30.35	55.04	9A	MA - contaminada	molido	46531.75	242.73	<LOD	1144.14	<LOD	203.21	<LOD	104.79	152.91	13.88	1443.72	28.28	<LOD	80.55
2/05/2022	11:41:57	#11-Avg(2)	Geochem							46908.01	241.65	<LOD	1127.08	<LOD	208.94	<LOD	101.15	134.23	13.28	1418.65	27.77	<LOD	79.46
2/05/2022	11:46:38	#12-1	Geochem	24.1	29.75	53.85	Bolsa	Polietileno	bolsa	672.69	7.04	<LOD	2685.6	<LOD	87.87	<LOD	46.06	<LOD	6996.67	116.48	5.38	<LOD	19.94
2/05/2022	11:47:38	#12-2	Geochem	22.99	30.25	53.24	Bolsa	Polietileno	bolsa	6911.7	7.27	<LOD	2716.99	<LOD	84.19	<LOD	46.59	<LOD	7024.2	112.78	5.15	<LOD	19.13
2/05/2022	11:47:39	#12-Avg(2)	Geochem							682.2	7.16	<LOD	2701.29	<LOD	86.03	<LOD	46.32	<LOD	7010.44	114.69	5.26	<LOD	19.53

Date	Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	Ni	Ni +/-	Cu	Cu +/-	Zn	Zn +/-	As	As +/-	Se	Se +/-	Rb	Rb +/-	Sr	Sr +/-	Y	Y +/-
2/05/2022	11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							<LOD	34.04	<LOD	28.83	31.95	1.2	<LOD	14.12	<LOD	9.6	11.4	0.4	16.53	0.41	6.26	0.47
2/05/2022	11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	<LOD	87.22	31.92	4.1												

Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	Zr	Zr +/-	Nb	Nb +/-	Mo	Mo +/-	Ag	Ag +/-	Cd	Cd +/-	Sn	Sn +/-	Sb	Sb +/-
11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							5.11	0.58	3.94	0.91	<LOD	82.56	37.26	2.9	34.23	3.36	<LOD	806.89	<LOD	519.62
11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	14.6	1.15	14.75	1.77	<LOD	155.96	38.88	5.25	24.51	6	<LOD	1518.24	<LOD	1935.65
11:22:59	#6-2	Geochem	24.76	29.85	54.61	1A	CB-puro	molida	16.43	1.17	9.2	1.76	5.22	1.39	51.36	5.28	29.31	6.03	<LOD	1519.6	35.26	10.42
11:22:59	#6-Avg(2)	Geochem							15.52	1.16	11.97	1.77	<LOD	80.06	45.12	5.26	26.91	6.01	<LOD	1518.92	<LOD	983.45
11:26:53	#7-1	Geochem	24.47	29.99	54.46	2A	EP - Puro	molido estipete	8.9	0.75	<LOD	123.1	<LOD	105.27	47.97	3.66	44.37	4.23	<LOD	991.32	<LOD	1257.03
11:27:54	#7-2	Geochem	24.52	30.29	54.81	2A	EP - Puro	molido estipete	9.52	0.76	7.39	1.19	<LOD	106.09	46.64	3.67	44.16	4.24	<LOD	1001.36	25.89	7.67
11:27:54	#7-Avg(2)	Geochem							9.21	0.76	<LOD	63.34	<LOD	105.68	47.31	3.66	44.56	4.23	<LOD	996.34	<LOD	640.01
11:30:34	#8-1	Geochem	24.4	30.01	54.41	3A	EP - contaminados	molido estipete	8.45	0.75	7.36	1.19	<LOD	99.78	39.34	3.76	42.71	5.38	<LOD	945.42	90	8.11
11:31:36	#8-2	Geochem	25.1	30.6	55.7	3A	EP - contaminados	molido estipete	9.47	0.76	9.76	1.2	<LOD	100.57	45.68	3.79	43.04	5.44	<LOD	954.55	96.94	8.19
11:31:36	#8-Avg(2)	Geochem							8.96	0.76	8.56	1.19	<LOD	100.18	42.51	3.77	42.9	5.41	<LOD	949.98	93.47	8.15
11:33:52	#9-1	Geochem	24.68	29.76	54.44	5A	MA - pura	molido	13.47	1.03	10.71	1.56	<LOD	136.77	37.94	4.66	31.97	5.32	<LOD	1347.33	<LOD	1730.42
11:34:52	#9-2	Geochem	25.19	29.81	55.5A	5A	MA - pura	molido	12.48	1.02	9.3	1.53	<LOD	134.68	49.68	4.59	34.51	5.22	<LOD	1326.64	<LOD	1690.34
11:34:52	#9-Avg(2)	Geochem							12.97	1.03	10.01	1.55	<LOD	135.72	43.81	4.63	33.22	5.27	<LOD	1336.98	<LOD	1710.38
11:37:08	#10-1	Geochem	24.69	29.86	54.55	7A	CB - contaminada	molido	11.71	1.18	13.93	1.81	5.11	1.41	33.49	5.6	645.05	8.69	<LOD	1452.63	128.89	11.9
11:38:08	#10-2	Geochem	24.75	29.84	54.67A	7A	CB - contaminada	molido	13.41	1.2	11.39	1.8	4.77	1.42	39.76	5.58	690.65	8.9	<LOD	1441.19	129.24	11.94
11:38:08	#10-Avg(2)	Geochem							12.56	1.19	12.66	1.81	4.94	1.42	36.63	5.59	667.85	8.79	<LOD	1446.91	129.06	11.92
11:40:56	#11-1	Geochem	24.64	29.84	54.48	9A	MA - contaminada	molido	13.83	1.07	14.54	1.64	<LOD	132.06	38.09	4.93	439.86	7.08	<LOD	1300.38	88.75	10.34
11:41:57	#11-2	Geochem	24.69	30.35	55.04A	9A	MA - contaminada	molido	10.24	1.09	11.98	1.66	<LOD	134.33	46.55	5.04	456.74	7.22	<LOD	1308.37	93.4	10.57
11:41:57	#11-Avg(2)	Geochem							12.04	1.08	13.26	1.65	<LOD	133.19	42.92	4.98	458.3	7.15	<LOD	1304.37	91.07	10.45
11:46:38	#12-1	Geochem	24.1	29.75	53.85	Bolsa	Polietileno	bolsa	7.43	0.49	9.67	0.79	3.38	0.63	63.37	2.54	43.64	2.97	<LOD	688.86	26.97	5.53
11:47:38	#12-2	Geochem	22.99	30.25	53.24	Bolsa	Polietileno	bolsa	8.35	0.48	9.19	0.76	2.88	0.61	54.95	2.44	46.28	2.86	<LOD	660.45	26.4	5.3
11:47:39	#12-Avg(2)	Geochem							7.89	0.49	9.43	0.78	3.13	0.62	59.16	2.49	44.98	2.92	<LOD	674.66	26.68	5.42

Date	Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	Ta	Ta +/-	W	W +/-	Hg	Hg +/-	Pb	Pb +/-	Bi	Bi +/-	Th	Th +/-	U	U +/-	LE
2/05/2022	11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							<LOD	91.85	<LOD	112.29	<LOD	58.72	46.69	74.87	<LOD	285.85	18.97	1.99	7.08	0.93	946738.3
2/05/2022	11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	<LOD	218.93	<LOD	238.46	<LOD	115.59	<LOD	155.54	<LOD	543.3	40.17	3.87	14.13	1.85	826097.9
2/05/2022	11:22:59	#6-2	Geochem	24.76	29.85	54.61	1A	CB-puro	molida	<LOD	201.54	<LOD	237.81	<LOD	127.75	<LOD	157.47	<LOD	542.63	34.56	3.86	13.85	1.87	820514.55
2/05/2022	11:22:59	#6-Avg(2)	Geochem							<LOD	210.23	<LOD	238.63	<LOD	121.67	<LOD	156.51	<LOD	542.96	37.36	3.86	13.99	1.86	828306.23
2/05/2022	11:26:53	#7-1	Geochem	24.47	29.99	54.46	2A	EP - Puro	molido estipete	6.57	2.13	<LOD	137.1	<LOD	74.48	<LOD	99.75	<LOD	371.31	32.52	2.6	14.87	1.26	944370.41
2/05/2022	11:27:54	#7-2	Geochem	24.52	30.29	54.81	2A	EP - Puro	molido estipete	<LOD	122.54	<LOD	140.71	<LOD	77.88	<LOD	104.11	<LOD	371.81	26.78	2.59	14.01	1.26	948647.86
2/05/2022	11:27:54	#7-Avg(2)	Geochem							<LOD	64.46	<LOD	138.91	<LOD	76.18	<LOD	101.93	<LOD	371.56	29.65	2.6	14.44	1.26	945424.13
2/05/2022	11:30:34	#8-1	Geochem	24.4	30.01	54.41	3A	EP - contaminados	molido estipete	58.39	4.42	<LOD	174.55	<LOD	128.06	118.17	7.71	<LOD	376.33	28.11	2.59	12.05	1.27	950544.07
2/05/2022	11:31:36	#8-2	Geochem	25.1	30.6	55.7	3A	EP - contaminados	molido estipete	65.66	4.56	<LOD	173.21	<LOD	127.81	1185.09	7.83	<LOD	377.21	25.83	2.59	12.74	1.28	950892.98
2/05/2022	11:31:36	#8-Avg(2)	Geochem							62.03	4.48	<LOD	173.88	<LOD	127.93	1176.63	7.77	<LOD	376.77	26.97	2.59	12.4	1.28	950718.53
2/05/2022	11:33:52	#9-1	Geochem	24.68	29.76	54.44	5A	MA - pura	molido	<LOD	192.25	<LOD	202.55	<LOD	111.98	40.99	133.37	<LOD	481.81	35.49	3.43	16.27	1.77	830555.97
2/05/2022	11:34:52	#9-2	Geochem	25.19	29.81	55.5A	5A	MA - pura	molido	<LOD	193.51	<LOD	211.43	<LOD	105.57	40.8	134.63	<LOD	474.46	35.68	3.39	14.74	1.63	829131.64
2/05/2022	11:34:52	#9-Avg(2)	Geochem							<LOD	187.38	<LOD	206.99	<LOD	108.78	<LOD	134	<LOD	478.13	35.09	3.41	15.5	1.68	831734.8
2/05/2022	11:37:08	#10-1	Geochem	24.69	29.86	54.55	7A	CB - contaminada	molido	112.72	8.48	<LOD	289.31	<LOD	206.54	195.83	15.63	<LOD	561.61	38.78	3.96	11.72	1.95	858646.92
2/05/2022	11:38:08	#10-2	Geochem	24.75	29.84	54.67A	7A	CB - contaminada	molido	139.16	9.01	<LOD	287.93	<LOD	201.93	203.06	16.12	<LOD	559.11	30.96	3.92	11.73	1.95	860335.83
2/05/2022	11:38:08	#10-Avg(2)	Geochem							125.94	8.75	<LOD	288.62	<LOD	204.24	199.95	15.88	<LOD	560.36	34.87	3.94	11.77	1.95	859491.37
2/05/2022	11:40:56	#11-1	Geochem	24.64	29.84	54.48	9A	MA - contaminada	molido	101.78	7.3	<LOD	262.16	<LOD	175.71	164.11	12.51	<LOD	503.88	29.41	3.52	13.13	1.76	868726.59
2/05/2022	11:41:57	#11-2	Geochem	24.69	30.35	55.04	9A	MA - contaminada	molido	109.84	7.61	<LOD	263.15	<LOD	179.22	171.93	13.18	<LOD	516.49	35.18	3.63	11.11	1.78	875527.96
2/05/2022	11:41:57	#11-Avg(2)	Geochem							105.81	7.45	<LOD	262.66	<LOD	177.47	167.01	12.85	<LOD	510.18	32.29	3.57	12.17	1.77	87127.39
2/05/2022	11:46:38	#12-1	Geochem	24.1	29.75	53.85	Bolsa	Polietileno	bolsa	<LOD	85.93	<LOD	97.54	<LOD	45.99	<LOD	63.98	<LOD	246.3	29.73	1.72	8.52	0.79	981254.95
2/05/2022	11:47:38	#12-2	Geochem	22.99	30.25	53.24	Bolsa	Polietileno	bolsa	<LOD	88.29	<LOD	95.6	<LOD	46	<LOD	60.99	<LOD	239.56	32.48	1.67	10.9	0.78	980571.86
2/05/2022	11:47:39	#12-Avg(2)	Geochem							<LOD	87.11	<LOD	96.57	<LOD	46	<LOD	62.49	<LOD	242.93	31.11	1.69	9.71	0.78	980913.41

Date	Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	LE +/-	Best Match	Best Match Number	Live Time 1	Live Time 2	Live Time Total	Instrument SN
2/05/2022	11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							1134.51		0				512299
2/05/2022	11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	2247.42		0	21.86	23.54	45.41	512299
2/05/2022	11:22:59	#6-2	Geochem	24.76	29.85	54.61	1A	CB-puro	molida	2228.81		0	21.56	23.44	45	512299
2/05/2022	11:22:59	#6-Avg(2)	Geochem							2238.12		0				

Date	Time	Reading	Mode	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time Total	Nombre	Cod'	Característica	Model	Tube Anode	Unit	Ambient Pressure	Collimate d
2/05/2022	11:18:45	#5-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:22:00	#6-1	Geochem	25.08	29.98	55.06	1A	CB-puro	molida	Delta Prem	Rh	%	685	No
2/05/2022	11:22:59	#6-2	Geochem	24.76	29.85	54.61	1A	CB-puro	molida	Delta Prem	Rh	%	685	No
2/05/2022	11:22:59	#6-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:26:53	#7-1	Geochem	24.47	29.99	54.46	2A	EP - Puro	molido estipete	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:27:54	#7-2	Geochem	24.52	30.29	54.81	2A	EP - Puro	molido estipete	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:27:54	#7-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:30:34	#8-1	Geochem	24.4	30.01	54.41	3A	EP - contaminados	molido estipete	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:31:36	#8-2	Geochem	25.1	30.6	55.7	3A	EP - contaminados	molido estipete	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:31:36	#8-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:33:52	#9-1	Geochem	24.68	29.76	54.44	5A	MA - pura	molido	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:34:52	#9-2	Geochem	25.19	29.81	55	5A	MA - pura	molido	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:34:52	#9-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:37:08	#10-1	Geochem	24.69	29.86	54.55	7A	CB - contaminada	molido	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:38:08	#10-2	Geochem	24.75	29.84	54.56	7A	CB - contaminada	molido	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:38:08	#10-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:40:56	#11-1	Geochem	24.64	29.84	54.48	9A	MA - contaminada	molido	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:41:57	#11-2	Geochem	24.69	30.35	55.04	9A	MA - contaminada	molido	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:41:57	#11-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No
2/05/2022	11:46:38	#12-1	Geochem	24.1	29.75	53.85	Bolsa	Polietileno	bolsa	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:47:38	#12-2	Geochem	22.99	30.25	53.24	Bolsa	Polietileno	bolsa	Delta Prem	Rh	%	684	No
2/05/2022	11:47:39	#12-Avg(2)	Geochem							Delta Prem	Rh	%		No

III.3 Tabla periódica de los elementos con energías de FRX

Periodic Table of Elements and X-ray Energies

www.bruker.com/hhxf

Handheld XRF

Innovation with Integrity

III.4 Constancias de los servicios de laboratorio

Laboratorio de Espectroscopía Óptica no Destructiva – LEOnoD
Departamento Académico de Física, Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - Ambiente C-358, Ciudad Universitaria

CONSTANCIA DE LABORATORIO

Laboratorio de Espectroscopía Óptica no Destructiva - LEOnoD

Dirección: Ambiente C-358, Departamento Académico de Física, Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Fecha: Cusco, 17 de junio de 2024

Señora: Rosana Leonor Aranzabal Carrasco

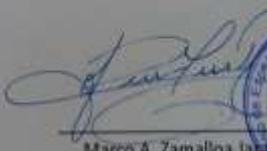
Asunto: Constancia de análisis de muestras

Por medio de la presente, hacemos constar que el Laboratorio de Espectroscopía Óptica no Destructiva – LEOnoD, ha realizado el análisis de las siguientes muestras:

1. Estípites de pleurotus SPP (EP)
2. Minthostachys acris (MA)
3. Clinopodium bolivianum (CB)

Los análisis se realizaron de acuerdo con la técnica de Fluorescencia de rayos X (FRX), con un equipo portátil X-Delta-Premium de Olympus, en el modo GeoChem, y los resultados obtenidos se adjuntan a la presente.

Atentamente,



Marco A. Zamalloa Jara
Coordinador

Marco A. Zamalloa Jara marco.zamalloa@unisaac.edu.pe 984 701367

CONSTANCIA

Quien suscribe, hace constar que se realizó el análisis de muestras de material vegetal (Especies de Hongos) mediante Espectroscopia Infrarroja acoplado a reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), solicitada por la Mgt. Rosana Leonor Aranzabal Carrasco. Análisis realizado en los Laboratorios de Química Orgánica y de Investigación LabOr de la Escuela Profesional de Química – UNSAAC.

Según detalle:

Tipo de Análisis: Espectroscopia Infrarroja

Muestras: Especies de Hongos

Estípites de hongo Pleurotus spp. (EP)

Estípites de hongo Pleurotus spp con plomo (EP-Pb)

Estípites de hongo Pleurotus spp con cadmio (EP-Cd)

Estípites de hongo Pleurotus spp en medio ácido-básico (EP(ab))

Estípites de hongo Pleurotus spp natural (EP(n))

Minthostachys acris (MA)

Minthostachys acris con plomo (MA-Pb)

Minthostachys acris con cadmio (MA-Cd)

Clinopodium bolivianum (CB)

Clinopodium bolivianum con plomo (CB-Pb)

Clinopodium bolivianum con cadmio (CB-Cd)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA – ÁREA DE QUÍMICA ORGÁNICA
Laboratorio de Investigación, Análisis, y Preparación de Productos Orgánicos – LabOr
Av. De la Cultura 733 – Pabellón de Ciencias Químicas

Condiciones de muestra: 1 mg de muestra, finamente molida en mortero de ágata.

Selección del experimento FTIR-ATR

La lectura se dio en absorbancia, en el rango de 4000-400 cm^{-1} de frecuencia, con una resolución de 4 cm^{-1} , 32 escaneos y una corrida de blanco antes de la evaluación de cada muestra.

Resultados: Espectros infrarrojo por muestra

Fecha de análisis de muestras: marzo del 2021

Se expide la presente a solicitud de la interesada

Cusco, 13 de junio de 2024



Mgt. Janet F. Gonzales Bellido
Directora del Laboratorio de Investigación LABOr
Coordinadora del Área de Química Orgánica

Condiciones de muestra: 1 mg de muestra, finamente molida en mortero de agata.

Selección del experimento FTIR-ATR

La lectura se dio en absorbancia, en el rango de 4000-400 cm^{-1} de frecuencia, con una resolución de 4 cm^{-1} , 32 escaneos y una corrida de blanco antes de la evaluación de cada muestra.

Resultados: Espectros infrarrojo por muestra

Fecha de análisis de muestras: marzo del 2021

Se expide la presente a solicitud de la interese

Cusco, 13 de junio de 2024



Mgt. Janet F. Gonzales Bellido
Directora del Laboratorio de Investigación LABOr
Coordinadora del Área de Química Orgánica