



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**BIOADSORCIÓN DE IONES CROMO (VI) Y CADMIO (II) DE SOLUCIONES
ACUOSAS CON GEL TANICO DE CORTEZA DE QUEÑUA (*Polylepis spp*)**

PRESENTADA POR:

HIGINIO ALBERTO ZUÑIGA SANCHEZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2024

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**BIOADSORCIÓN DE IONES CROMO (VI) Y
CADMIO (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS
CON GEL TANICO DE CORTEZA DE QU**

AUTOR

HIGINIO ALBERTO ZUÑIGA SANCHEZ

RECuento DE PALABRAS

31119 Words

RECuento DE CARACTERES

163002 Characters

RECuento DE PÁGINAS

170 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

77.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 18, 2024 11:51 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 18, 2024 11:56 AM GMT-5

● **13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Dr. Dante A. Salas Avila
INGENIERO METALURGISTA
CIP. N° 65075



Resumen



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

TESIS

**BIOADSORCIÓN DE IONES CROMO (VI) Y CADMIO (II) DE SOLUCIONES
ACUOSAS CON GEL TANICO DE CORTEZA DE QUEÑUA (*Polylepis spp*)**

PRESENTADA POR:

HIGINIO ALBERTO ZUÑIGA SANCHEZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....
D.Sc. WALTER ALEJANDRO ZAMALLOA CUBA

PRIMER MIEMBRO

.....
Ph.D. SABINO ATENCIO LIMACHI

SEGUNDO MIEMBRO

.....
D.Sc. ALCIDES HUAMANI PERALTA

ASESOR DE TESIS

.....
D.Sc. DANTE ATILIO SALAS AVILA

Puno, 02 de febrero de 2024.

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería.

TEMA: Bioadsorción de Iones Cromo (VI) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas con Gel Tánico de Corteza de Queñua.

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente.



DEDICATORIA

*Con eterna gratitud a Dios mi creador,
fuente de vida y bendición que hizo
posible culminar con éxito el esfuerzo
desplegado en esta investigación*

*Con admiración y un corazón agradecido,
a mi amada esposa Roxana del Carmen por
darme siempre motivos para crecer y
cristalizar mis sueños*

*A Alexander Alberto, mi hijo por
seguir mi camino y ayudarme a
enfrentar con optimismo y fé el
desafío de este importante logro*

Higinio Alberto Zúñiga Sánchez



AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela de Posgrado por haberme permitido estudiar el Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, a todos los docentes por haberme impartido sus conocimientos y al personal administrativo en los tramites de grado.

A los señores Miembros del Jurado: D.Sc. Walter Alejandro Zamalloa Cuba, Ph.D. Sabino Atencio Limachi y al D.Sc. Alcides Huamaní Peralta, por sus acertadas observaciones y recomendaciones en el desarrollo de la presente tesis.

A mi asesor de tesis D.Sc. Dante Atilio Salas Ávila por guiarme en el desarrollo de esta tesis.

Al D.Sc. Martin Choque Yucra por su apoyo en la realización de las pruebas experimentales, que se ejecutaron en el Megalaboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano.

A los colegas M.Sc. Yessenia Velasquez Zúñiga, al Ing. Carlos Humberto Juli Quispe por compartir sus experiencias en el tema de bioadsorción de metales pesados con materiales de origen vegetal.

Higinio Alberto Zúñiga Sánchez



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
ACRÓNIMOS	xii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	5
1.1.1	Queñua (<i>Polylepis</i> spp)	5
1.1.2	Taninos	5
1.1.3	Gel tánico	7
1.1.4	Bioadsorbentes	11
1.1.5	Bioadsorción	11
1.1.6	Mecanismos de bioadsorción	12
1.1.7	Principales factores que afectan el proceso de bioadsorción	12
1.1.8	Isoterma de bioadsorción	14
1.1.9	inética de la bioadsorción	15
1.1.10	Metales Pesados	15
1.1.11	Tratamiento de metales pesados en efluentes industriales	19
1.2	Antecedentes	20
1.2.1	Internacionales	20
1.2.2	Nacionales	25
1.2.3	Locales	26

CAPÍTULO II

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	27
		iii



2.2	Enunciados del problema	27
2.2.1	Problema general	27
2.2.2	Problemas específicos	28
2.3	Justificación	28
2.3.1	Justificación técnica	29
2.3.2	Justificación económica	29
2.3.3	Justificación ambiental	29
2.3.4	Justificación social	30
2.4	Objetivos	30
2.4.1	Objetivo general	30
2.4.2	Objetivos específicos	30
2.5	Hipótesis	31
2.5.1	Hipótesis general	31
2.5.2	Hipótesis específicas	31

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	32
3.2	Población	32
3.3	Muestra	32
3.4	Método de investigación	33
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	33
3.5.1	Método para la extracción y caracterización de la corteza de queñua (1er objetivo)	33
3.5.2	Método para determinar la capacidad de bioadsorción de los iones Cr (VI) y Cd (II) (2do objetivo).	37
3.5.3	Evaluar el pH y la temperatura en un diseño experimental (tercer objetivo)	41
3.5.4	Determinación de la capacidad de bioadsorción.	42
3.5.5	Diseño Experimental	43

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados	44
4.1.1	Resultados y discusión del primer objetivo: Obtener un bioadsorbente por extracción y caracterización de gel tánico de corteza de queñua.	44



4.1.2	Resultados y discusión del segundo objetivo: Determinar la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas.	52
4.1.3	Evaluar el pH y la temperatura en un diseño experimental (tercer objetivo)	92
4.2	Discusión	105
	CONCLUSIONES	108
	RECOMENDACIONES	110
	BIBLIOGRAFÍA	111
	ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Tipo de metales pesados y efectos en los seres humanos	18
2. Capacidades máximas de adsorción para diferentes adsorbentes	23
3. Taninos bioadsorbentes	23
4. Máxima capacidad de adsorción de Cr (VI) (Q_m).	25
5. Coordenadas de los puntos de muestreo	32
6. Ajuste a una isoterma de equilibrio.	39
7. Modelos cinéticos para la bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II)	40
8. Variables para el diseño experimental	41
9. Métodos para el análisis físico - químico del gel tánico	42
10. Capacidad de bioadsorción del Cr (VI) y Cd (II) en las isotermas y cinética	43
11. Porcentajes de bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II)	43
12. Obtención de Extracto Tánico de queñua (<i>Polylepis spp</i>) seco	44
13. Obtención de gel tánico de queñua (<i>Polylepis spp</i>) en agitador magnético con calefacción a 80°C	45
14. Lavado del gel tánico obtenido a partir de queñua (<i>Polylepis spp</i>)	46
15. Espectro infrarrojo (FT-IR) de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>)	47
16. Datos de los espectros infrarrojos (FT-IR) del extracto tánico de la corteza de la queñua molida (<i>Polylepis spp</i>) malla 80 y sus posibles grupos funcionales:	49
17. Datos de los espectros infrarrojos (FT-IR) del gel tánico de la corteza de la queñua molida (<i>Polylepis spp</i>) malla 80 y sus posibles grupos funcionales	50
18. De datos experimentales para la isotermas de Cr (VI) $T=40^{\circ}c$ y $pH=2$	52
19. Continuación de la tabla 18	53
20. Resultados de la isoterma de adsorción de Cr (VI)	53
21. Resultados de la isoterma de Langmuir para Cr (VI)	55
22. Resultados de la isoterma de Freundlich para Cr (VI)	57
23. Constantes de las isotermas de Langmuir y Freundlich del Cr (VI).	59
24. Comparación de la máxima capacidad bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II) con varios taninos inmovilizados en la literatura para la isoterma de Langmuir.	60
25. Comparación de las constantes de la isoterma Freundlich en la literatura para Cr (VI) y Cd (II).	61
26. Resultados para la cinética de bioadsorción de Cr (VI)	62



27.	Resultados de datos de cinética normalizados	62
28.	Resultados para la cinética del Cr (VI)	62
29.	Resultados de la cinética de adsorción Cromo (VI)	63
30.	Resultados del modelo de pseudo primer orden para el Cr (VI)	65
31.	Resultados del modelo pseudo segundo orden para el Cr (VI)	66
32.	Resultados del modelo de Elovich para el Cr (VI)	68
33.	Constantes de los modelos cinéticos de adsorción Cr (VI).	70
34.	Constantes de segundo orden para el Cr (IV)	71
35.	Datos para determinar la isoterma para el Cd (II)	71
36.	Continuación de la tabla 35 de resultados para isotermas	72
37.	Resultados para la isoterma de adsorción	72
38.	Resultados de la isoterma de Langmuir para el Cd (II)	74
39.	Resultados para la isoterma de Freundlich del Cd (II)	76
40.	Constantes de las isotermas de Langmuir y Freundlich del Cd (II)	79
41.	Datos experimentales para modelos cinéticos Cd (II)	80
42.	Continuación de la tabla 41	80
43.	Resultados de la cinética de adsorción del Cd (II).	81
44.	Resultados del modelo de pseudo primer orden del Cd (II).	83
45.	Resultados del modelo pseudo segundo orden del Cd (II).	84
46.	Resultados del modelo de Elovich del Cd (II).	86
47.	Constantes de los modelos cinéticos de adsorción del Cd (II).	90
48.	Constantes de la ecuación de pseudo segundo orden con diversos adsorbentes	91
49.	Resultados del porcentaje de bioadsorción del Cr (VI)	92
50.	Efectos estimados para % bioadsorción de Cr (VI)	93
51.	Coefficiente de regresión para %bioadsorción de Cr (VI).	95
52.	Análisis de varianza para %bioadsorción de Cr (VI)	96
53.	Resultados de las variables óptimas del % Bioadsorción de Cr (VI)	98
54.	Resultados del porcentaje de bioadsorción del Cd (II)	99
55.	Efectos estimados para % bioadsorción de Cd (II)	100
56.	Coefficiente de regresión del % bioadsorción del Cd (II)	101
57.	Análisis de varianza para % bioadsorción del Cd (II)	102
58.	Resultados de las variables óptimas para el Cd (II)	105
59.	Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=4	128



60. Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=2 129
61. Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 20°C, pH=4 129
62. Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 20°C, pH=2 130
63. Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=2 130
64. Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=4 131
65. Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 20°C pH=2 131
66. Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp) Temperatura 20°C, pH=4 132

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Tanino de quebracho (monoflavonoides y sus oligómeros)	6
2. Estructura de subunidad de flavonoide, letras estándar para identificar los anillos y sistema de numeración	9
3. Estructura típica de tanino condensado con enlaces interflavonoides C4–C8 y C4–C6	9
4. Reacción de tanino con formaldehído (son los sitios reactivos de taninos con formaldehído)	10
5. Árbol de queñua (<i>Polylepis</i> spp)	34
6. Diagrama de flujos para la obtención de gel tánico	36
7. Diagrama de flujos para la obtención de gel tánico	37
8. Espectro infrarrojo (FT-IR) de la corteza de la queñua (<i>Polylepis</i> spp) malla 80	46
9. Espectro infrarrojo (FT-IR) del Extracto Tánico de la corteza de la queñua (<i>Polylepis</i> spp)	48
10. Espectro infrarrojo (FT-IR) del Extracto Tánico de la corteza de la queñua (<i>Polylepis</i> spp)	48
11. Espectro Infrarrojo (FT-IR) del gel tánico de queñua seco (<i>Polylepis</i> spp)	50
12. Análisis por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) del gel tánico queñua (<i>Polylepis</i> spp)	51
13. Isotermas de adsorción de Cr (VI).	54
14. Ajuste de datos a la isoterma de Langmuir del Cr (VI)	56
15. Ajuste de datos a la isoterma de Freundlich del Cr (VI)	57
16. Ajuste a un modelo de cinética para el Cr (VI)	64
17. Ajuste del modelo de pseudo primer orden para el Cr (VI)	65
18. Ajuste de datos al modelo de pseudo segundo orden para el Cr (VI)	67
19. Ajuste de datos al modelo de Elovich del Cr (VI).	68
20. Isotermas de adsorción del Cd (II)	73
21. Ajuste de datos a la isoterma de Langmuir del Cd (II)	75
22. Ajuste de datos a la isoterma de Freundlich del Cd (II)	77
23. Cinética de bioadsorción de Cd (II)	82
24. Ajuste de datos al modelo de pseudo primer orden del Cd (II).	83
25. Ajuste de datos al modelo de pseudo segundo orden del Cd (II).	85



26.	Ajuste de datos al modelo de Elovich del Cd (II)	87
27.	Diagrama de Pareto estandarizado para el Cr (VI)	94
28.	Gráfica de contorno para el % Bioadsorción de Cr (VI).	97
29.	Gráfica de superficie respuesta estimada del Cr (VI)	98
30.	Gráfica de contorno para el % Bioadsorción de Cd (II)	103
31.	Gráfica de superficie respuesta estimada del Cd (II).	104
32.	Laminas de la corteza del arbol de queñua (<i>Polylepis</i> spp)	154
33.	Gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis</i> spp)	154
34.	Bioadsorción de Cr (VI) (izquierdo) y Cd (II) (derecho)	154
35.	Filtración de muestras de Cr (VI) (izquierdo) y Cd (II) (derecho)	155
36.	Muestras envasadas para el analisis del Cr (VI)	155
37.	Muestras envasadas para el analisis del Cd (II)	155



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Matriz de consistencia	127
2. Resultados experimentales de bioadsorción de del gel tánico para Cr(VI) y Cd(II)	128
3. Caracterización de la corteza de queñua molida	133
4. Caracterización del extracto de corteza de queñua	133
5. Análisis de los ensayos de Cr (VI)	135
6. Análisis de los ensayos de Cd (II)	140
7. Normas Legales de los Estándares de la Calidad Ambiental del Agua	144
8. Fotos del proceso de bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II)	154

ACRÓNIMOS

% BCd (II)	: Porcentaje de Bioadsorción de Cadmio (II).
% BCr (VI)	: Porcentaje de Bioadsorción de Cromo (VI).
ANOVA	: Análisis de varianza.
b	: Constante de Langmuir relacionada con la afinidad del adsorbente por el adsorbato.
Cd (II)	: Cadmio divalente.
Ce	: Concentración final del adsorbato en el equilibrio (mg/L).
Cr (VI)	: Cromo hexavalente.
h	: Velocidad inicial de adsorción (mg/g.min).
K	: Constante de Freundlich y es un indicador del equilibrio adsorción.
k1	: Constante cinética de pseudo primer orden (L/min).
k2	: Constante cinética de pseudo segundo orden (g/mg.min).
LAS	: Laboratorio Analítico del Sur.
m	: Cantidad de adsorbente utilizada (g).
n	: Intensidad de adsorción.
OMS	: Organización Mundial de la salud.
qe	: Capacidad máxima de adsorción (mg/g).
qmax	: Capacidad máxima de adsorción (mg/g).
qt	: Capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g).
t	: Tiempo (min).
USEPA	: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
V	: Volumen de la solución acuosa (L).
α	: Velocidad inicial de adsorción de Elovich (mg/g.min).
β	: Energía de activación por quimiadsorción (g/mg).

RESUMEN

Los efluentes industriales que contienen metales pesados como el Cr (VI) y Cd (II) causan serios problemas ambientales y la salud pública, por ser los más tóxicos, mutagénicos y cancerígenos. La investigación tuvo como objetivo preparar el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) como bioadsorbente para eliminar los iones Cr (VI) y Cd (II) de soluciones acuosas. La metodología utilizada fue la preparación y caracterización del gel tánico por espectroscopia de Infrarrojo (TFIR), identificando grupos funcionales capaces de adsorber iones Cr (VI) y Cd (II). En la evaluación de las isothermas se encontró que la isoterma de Langmuir, representó mejor capacidad máxima de bioadsorción del Cr (VI) de $q_{max} = 5.39$ mg/g; para el Cd (II), se representó adecuadamente con la isoterma de Langmuir con $q_{max} = 4.01$ mg/g. La evaluación de los modelos cinéticos para el Cr (VI) el que mejor se ajustó fue el de pseudo segundo orden; en la cinética del Cd (II) se representó mejor con el modelo cinético de pseudo segundo orden. Se evaluaron las variables independientes de pH y Temperatura en un diseño central compuesto de Box Behncken, el máximo porcentaje de bioadsorción del Cr (VI) de 99.42 % con valores óptimos de pH de 1.59 y temperatura de 20.16 °C; en el Cd (II) se alcanzó hasta 99.97 % con pH de 3.82 y temperatura de 40.96 °C. Se concluye que el proceso de bioadsorción con gel tánico es capaz de adsorber los iones Cr (VI) y Cd (II).

Palabras clave: Corteza de queñua, Cr (VI), Cd (II), gel tánico, isothermas, modelos cinéticos.

ABSTRACT

Industrial effluents containing heavy metals such as Cr (VI) and Cd (II) cause serious environmental and public health problems, as they are the most toxic, mutagenic and carcinogenic. The objective of the research was to prepare the tannic gel of queñua bark (*Polylepis spp*) as a bioadsorbent to remove Cr (VI) and Cd (II) ions from aqueous solutions. The methodology used was the preparation and characterization of the tannic gel by FTIR spectroscopy, identifying functional groups capable of adsorbing Cr (VI) and Cd (II) ions. In the evaluation of the isotherms, it was found that the Langmuir isotherm represented the best maximum bioadsorption capacity for Cr (VI) with $q_{max} = 5.39$ mg/g; for Cd (II), it was adequately represented with the Langmuir isotherm with $q_{max} = 4.01$ mg/g. The evaluation of the kinetic models for Cr (VI), the best fit was the pseudo-second order. In the kinetic of Cd (II) it was best represented with pseudo second order kinetic model. The independent variables of pH and temperature were evaluated in a central Box Behncken composite design, the maximum percentage of Cr (VI) bioadsorption of 99.42 % with optimum pH values of 1.59 and temperature of 20.16 °C; in Cd (II) it was reached up to 99.97 % with pH of 3.82 and temperature of 40.96 °C. It is concluded that the bioadsorption process with tannic gel is capable of adsorbing Cr (VI) and Cd (II) ions.

Keywords: Cr (VI), Cd (II), kinetic model, isotherms, queñua bark, tannic gel.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por metales pesados es uno de los problemas medioambientales más importantes en la actualidad porque no se degradan en productos inocuos, tienden a acumularse y son tóxicos para los seres humanos, animales y plantas (Anjum et al., 2023). Entre los metales pesados, el Cd (II) y el Cr(VI) son extremadamente tóxicos y ha sido clasificado como carcinógeno y teratógeno humano con efectos sobre los pulmones, el hígado y los riñones (Amalina et al., 2022; Briffa et al., 2020).

El vertido de aguas contaminadas que contienen metales pesados como Cr (VI) y Cd (II) procedentes de diversas industrias, como el curtido de pieles, la metalurgia, la galvanoplastia, la fabricación de productos químicos, la minería, la fabricación de baterías y el acabado de metales, es motivo de preocupación medioambiental (Aydin y Soylak, 2009).

Las principales fuentes de contaminación de Cr(VI) y Cd(II) son antropogénicas: aguas residuales de la industria de curtiembre, galvanoplastia, fabricación de productos químicos operaciones mineras, fabricación de Baterías (Chabaane et al., 2011; Krishnani et al., 2021).

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USA EPA) ha establecido un nivel máximo de contaminante de 0,005 mg/L para el cadmio y 0.1 mg/L para el cromo en el agua potable como lo describe Park et al. (2005); mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha fijado una concentración máxima orientativa de 0,003 mg/L para el cadmio y de 0.05 mg/L para el cromo según Godt et al. (2006) y DS004-2017-MINAN.

Las tecnologías tradicionales como la precipitación química, la adsorción con carbón activado, los procesos de separación de membrana, métodos de tratamiento electroquímico, han sido ampliamente utilizadas para la eliminación de metales pesados de aguas naturales contaminadas (Samavati et al., 2023). Estos procesos son muy caros, ineficientes cuando las concentraciones de los metales pesados disueltos son del orden de 1 a 100 mg/L (Fei y Hu, 2023). Esto conlleva a utilizar tecnologías más baratas y eficaces que sirvan para eliminar los metales pesados de las aguas residuales.

Alternativamente se tiene el proceso de bioadsorción, que utiliza como bioadsorbentes baratos de origen vegetal, como las cortezas de árboles como el

quebracho, mimosa, pino, hojas de plantas (Aquad et al., 2020). En el presente trabajo se utilizó la corteza de la queñua para obtener gel tánico o tanino inmovilizado para eliminar iones Cr (VI) y Cd (II) de soluciones acuosa con eficacia.

La presente investigación se desarrolló en el área de Medio Ambiente, línea de Recursos Naturales y Medio Ambiente con el Tema Bioadsorción de iones Cromo (VI) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas con Gel Tánico de Corteza de Queñua (*Polylepis spp*). El propósito fue describir los parámetros de bioadsorción del gel tánico como pH y temperatura, tiempos de contacto, la concentración de iones Cr (VI) y Cd (II), así como la dosis de adsorbente, sobre la capacidad de adsorción, con el análisis de los modelos cinéticos y los datos de equilibrio utilizando las isothermas de Langmuir y Freundlich.

La estructura del informe consta de cuatro capítulos: en el capítulo I, se desarrolló la revisión de literatura empleando la información teórica y los antecedentes elegidos de acuerdo al tema de investigación; en la capítulo II, se consideró el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos como el objetivo general, los objetivos específicos, las hipótesis; en el capítulo III, se desarrolló los métodos utilizados en función de los objetivos planteados; en el capítulo IV, se muestran los resultados obtenidos con la respectiva interpretación y discusión de acuerdo a los antecedentes y fundamentos teóricos. Finalmente se han expuesto las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Queñua (*Polylepis* spp)

El género *Polylepis* se deriva de las palabras griegas Poly (muchas) y *lepis* (capas), pertenece a la tribu Sanguisorbeae de la familia Rosaceae, comúnmente llamado queñua o quewiña (del quechua qiwiña) en su mayoría está constituido por arboles de 5 a 10 m de altura y con troncos de hasta 2 m de altura, con características morfológicas que incluyen troncos rojos y retorcidos, corteza delgada y exfoliante y pequeñas hojas imparipinnadas (Kessler, 2006; Kessler y Schmidt, 2006; Renison et al., 2018; Zutta et al., 2012). Los bosques de *Polylepis* se distribuyen en laderas montañosas de la Cordillera de los Andes desde Venezuela (Sierra Nevada de Mérida) hasta el norte de Chile y las Sierras de Comechingones en Argentina (Segovia et al., 2021). El rango altitudinal oscila entre 900 msnm en Córdoba, en Argentina, hasta 5000 msnm en el volcán Sajama en Bolivia (Kessler y Schmidt, 2006; Requena et al., 2020). El género *Polylepis* se caracteriza por una polinización anemófila y por sus frutos secos, incluye entre 15 y 28 especies.

1.1.2 Taninos

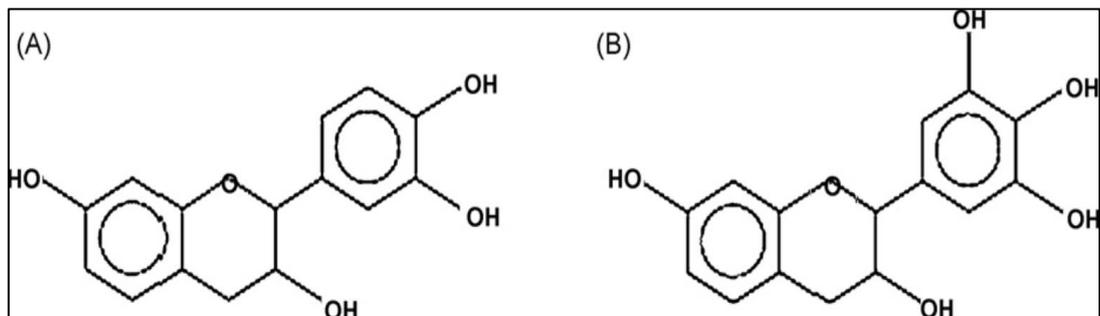
Los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua, con pesos moleculares entre 500 y 3000, que además de dar las reacciones fenólicas usuales, tienen propiedades especiales tales como la habilidad para precipitar alcaloides, gelatina y otras proteínas (Azad et al., 2023; Isaza, 2007). La corteza actúa como un adsorbente eficaz debido a su alto contenido en taninos, los grupos polihidroxipolifenólicos son las sustancias activas en el proceso de adsorción. Sin embargo, uno de los problemas con los materiales que contienen taninos es que cambian de color (a partir del fenol soluble). Este problema se puede prevenir mediante un pretratamiento químico de los fenoles solubles al agua para inmovilizar los taninos (Fakhri et al., 2023; Fu et al., 2023; Isaza, 2007; Liao et al., 2004). Algunos materiales como las cáscaras de maní, de nuez y coco han

mostrado su capacidad para ser comparados con otros ricos en taninos, siendo efectivos para la recuperación de cadmio (Sarangi y Mishra, 2023).

Los taninos son polifenoles de alto peso molecular que se encuentran en diferentes partes de plantas y árboles como semillas, frutos, raíces y cortezas. Como los taninos contienen una cantidad abundante de grupos hidroxilo adyacente en sus moléculas, forman quelatos con metales. Son solubles en agua y deben inmovilizarse cuando se usan como adsorbentes (Lima et al., 1998). Los taninos se dividen en dos clases de polímeros, los taninos hidrolizables y los taninos condensados (Rahim et al., 2007). Los taninos condensados, también conocidos como poliflavonoides o proantocianidinas, comprenden un grupo de oligómeros y polímeros de polihidroxiflavon-3-ol unidos por enlaces carbono-carbono entre subunidades de flavanol. El quebracho es un tanino condensado que tiene una estructura polimérica que contiene las unidades flavonoides (Aquad et al., 2020). El quebracho se basa principalmente en combinaciones de componentes básicos de resorcinol, catecol y pirogalol (Bacelo et al., 2016; Pizzi, 2019).

Figura 1

Tanino de quebracho (monoflavonoides y sus oligómeros)



Nota. Elaborado por Yurtsever y Şengil (2009).

A. Fuente de taninos

Las fuentes de taninos son muy variadas. Hay multitud de árboles y arbustos que contienen taninos. Tanto para las estructuras hidrolizables como para las condensadas, las especies ricas en taninos son numerosas. Destacan por su importancia económica e industrial presente o pasada como la corteza de zarzo negro o mimosa negra (*Acacia mearnsii*), la

madera de quebracho (*Schinopsis balansae o lorentzii*), la corteza de roble (*Quercus spp.*), madera de castaño (*Castanea sativa*), madera de mangle, *Acacia catechù*, *Uncaria gambir*, *sumach*, *myrabolans* (especies de árboles *Terminalia* y *Phyllantus*), divi-divi (*Caesalpina coraria*), algarobilla chilena, tara, y la corteza de varias especies de pinos y firmas, entre ellas *Pinus radiata* y *Pinus nigra* , sin contar aún más plantas con taninos extraíbles. En cuanto al origen de los taninos por localización, las zonas de mayor producción industrial en la actualidad son Brasil, Sudáfrica, India, Zimbabue y Tanzania para el tanino de mimosa; Argentina para el tanino de quebracho; Indonesia para los taninos de mangle y de cubo de Gambier; e Italia y Eslovenia para el tanino de castaño. Hay muchos otros productores pequeños o muy pequeños un poco por todas partes, por ejemplo, pequeñas fábricas de tanino de pino en Turquía y Chile, una fábrica de tanino de roble en Polonia y una fábrica de tanino de pepita de uva en Francia (Pizzi, 2008; Pizzi, 2019).

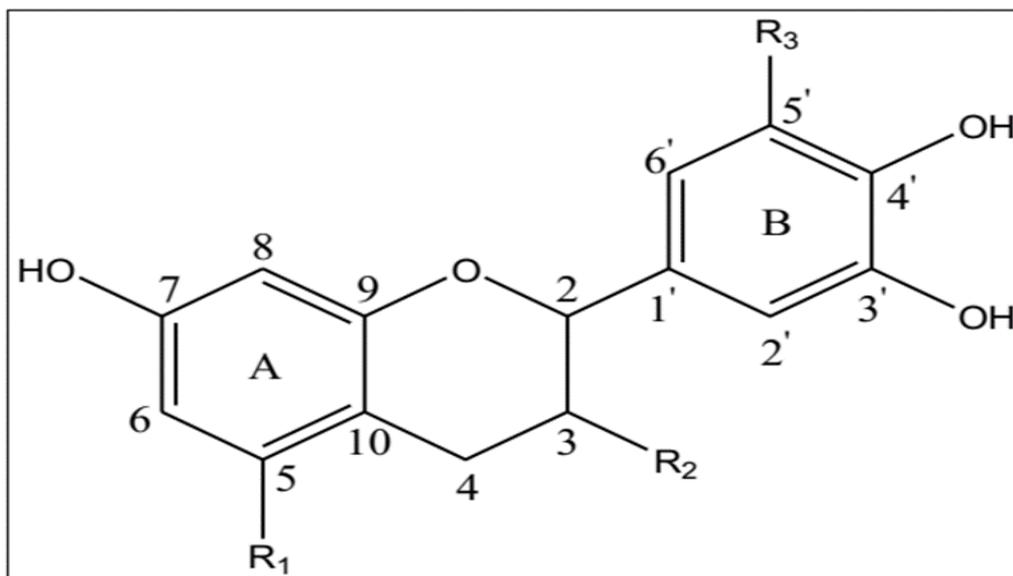
1.1.3 Gel tánico

Los geles de taninos presentan una superficie ácida caracterizada por diferentes grupos (grupos carboxílicos, lactónicos, fenólicos y carbonilo) y ningún grupo básico (Rodrigues et al., 2015). Las mediciones de los potenciales zeta a varios valores de pH caracterizaron los adsorbentes en términos de su carga superficial. Se han identificado puntos cero de carga (ZPC), o puntos isoeléctricos, a valores de pH muy bajos (Yurtsever y Şengil, 2009). Esto confirma la naturaleza aniónica de las resinas de taninos. Los grupos fenólicos presentes en los taninos les confieren un carácter aniónico, debido a la posibilidad de liberar protones, creando una carga negativa que se estabiliza por resonancia. Esta carga negativa hace que estos materiales sean aptos para la adsorción de cationes mediante atracción electrostática y luego un mecanismo de intercambio iónico (que involucra H^+ y el adsorbato catiónico). A menos que se realice un tratamiento adicional, se predice una afinidad electrostática mucho mayor para los cationes que para los aniones (Bacelo et al., 2016; Pizzi, 2019). La gelificación de taninos se ha informado ampliamente en literatura científica o en patentes. Las condiciones experimentales de gelificación pueden implicar el uso de formaldehído u otro aldehído en un entorno básico o ácido. Ejemplos de

gelificación básica se muestran en la literatura científica previamente y en patentes como la patente de los Estados Unidos 5.158.711 (Sánchez, Beltran, et al., 2011). La base química de la gelificación de taninos son ampliamente conocidos (Pizzi, 2008). El formaldehído y otros aldehídos reaccionan con los taninos para inducir la polimerización a través de enlaces de puentes de metileno en posiciones reactivas en las moléculas de flavonoides de tanino. Las posiciones reactivas de los anillos dependen del tipo de tanino, pero implica principalmente las unidades flavonoides terminales superiores. Por ejemplo, los anillos de *Acacia mearnsii* y los taninos de Quebracho (muestran reactividad hacia el formaldehído comparable a la del resorcinol. Sin embargo, aspectos como el tamaño y la forma hacen que las moléculas de tanino pierdan movilidad o flexibilidad a un nivel relativamente bajo de condensación, de modo que los sitios reactivos disponibles están demasiado separados para una mayor formación del puente de metileno. El resultado puede ser una polimerización incompleta, por lo tanto, se considera como malas propiedades del material. Es necesario buscar diferencias institucionales entre varios extractos de taninos para predecir el producto de gelificación. Por ejemplo, entre los taninos condensados de la corteza de mimosa (*A. mearnsii*), el patrón polifenólico principal está representado por análogos flavonoides basados en anillos de resorcinol A y anillos de pirogalol B. Esto es similar en el caso del extracto de corteza de Quebracho (*Schinopsis balansae*), pero no existe un patrón de anillo A de floroglucinol en el primer o en el segundo tipo. Los anillos A del tanino de pino poseen solo el tipo de estructura de floroglucinol, mucho más reactivo al formaldehído que su contraparte de tipo resorcinol (Sánchez et al., 2011).

Figura 2

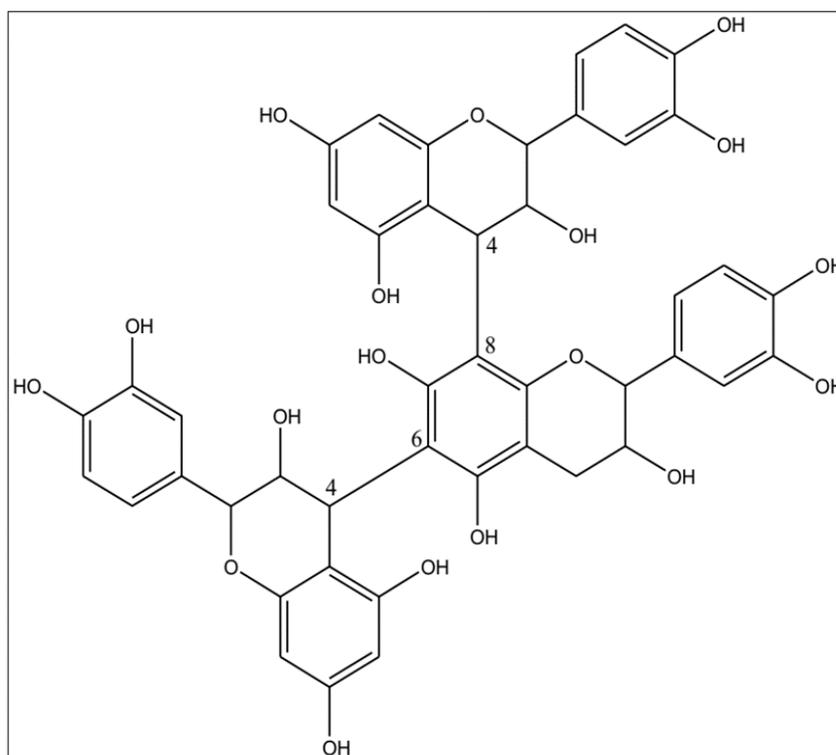
Estructura de subunidad de flavonoide, letras estándar para identificar los anillos y sistema de numeración



Nota. Elaborado por Pizzi (2008); (2019); Suzuki et al. (2004).

Figura 3

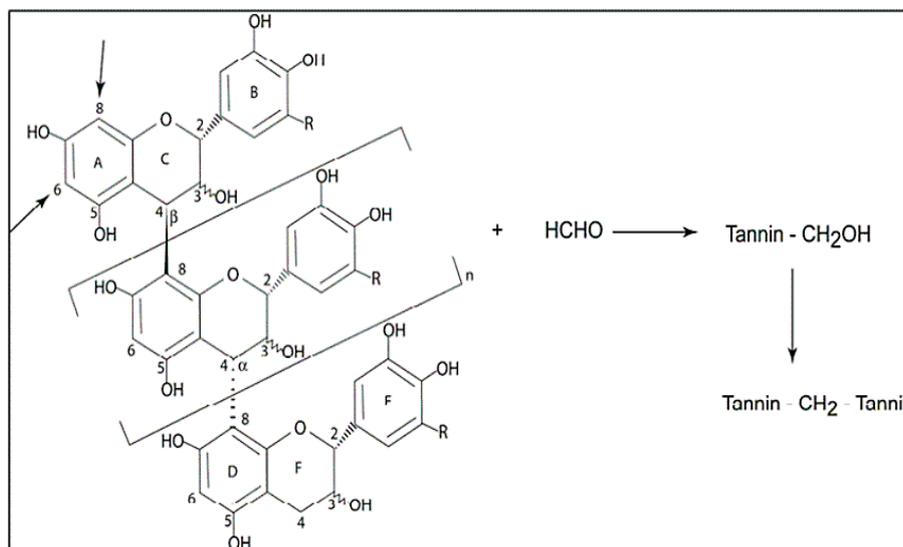
Estructura típica de tanino condensado con enlaces interflavonoides C4-C8 y C4-C6



Nota. Elaborado por Bacelo et al. (2016); Pizzi (2019).

Figura 4

Reacción de tanino con formaldehído (son los sitios reactivos de taninos con formaldehído)



Nota. Elaborado por Pizzi (2008).

Por lo tanto, es muy difícil definir la gelificación exacta y real, mecanismo para cada tipo de extracto de tanino, teniendo en cuenta la estructura y composición real de cada uno tiene que ver no solo con la fuente de taninos de corteza vegetal como la corteza de quebracho (*Schinopsis balansae*), *Acacia* sp. (zarzo), *Eucalyptus* sp. (eucalipto), *Mirtus* sp. (mirto), *Acer* sp. (arce), *Betula* sp. (abedul), *Salix Caprea* (sauce), *Pinus* sp. (pino), pero también con el proceso de extracción (Ampiauw y Lee, 2020; Bacelo et al., 2016). Además, los investigadores no están interesados en trabajar con extractos de taninos puros sino con materiales de madera natural, la caracterización química de los taninos gelificados es bastante compleja. Algunos ejemplos se presentan en la literatura previa con respecto al análisis FTIR y SEM (Sánchez et al., 2010; Yurtsever y Şengil, 2009). La gelificación se ha descrito como una forma efectiva de eliminar varios contaminantes de las aguas residuales. Se encuentran muchas referencias en la extracción o recuperación de metales mediante estos nuevos adsorbentes con respecto a la adsorción de Pb²⁺, Cu²⁺ y Zn²⁺ en la resina de tanino *Valonia* con una efectividad promedio de 100mgg⁻¹, 25mg.g⁻¹ y 20mg.g⁻¹, respectivamente. Otros metales como Cr⁶⁺ o Pd²⁺ fueron experimentados (Kim et al., 2007; Kim y Nakano, 2005).

1.1.4 Bioadsorbentes

Según su origen se pueden distinguir dos tipos de biosorbentes: Biomasa microbiana: incluye algas, bacterias, hongos y levaduras. Fácil de obtener y abundante en la naturaleza. La inmovilización de biomasa en una estructura sólida produce un material con las dimensiones, resistencia mecánica, rigidez y porosidad necesarias para aplicaciones de columnas (Acosta et al., 2007; Devaprasath et al., 2007; (Dianati & Ali, 2004; Ghosh et al., 2021; Mahmoud, 2015; Park et al., 2005). Residuos vegetales procedentes de procesos industriales o agrícolas, se obtienen gratuitamente o a muy bajo costo, dentro de este grupo se encuentra los huesos de aceituna, la corteza de pino, los desperdicios de la industria vitivinícola (Hidalgo, 2004; Martínez y Moreno, 2005; Qulatein y Yilmaz, 2023).

- Grandes cantidades de líquidos que contienen bajas concentraciones de metales contaminantes (< 100 mg/L), como relaves de minas.
- Pequeñas cantidades de líquido tienen altas concentraciones de metales tóxicos, como ocurre en la industria metalúrgica (concentradoras).
- En el primer caso, se debe utilizar un bioadsorbente que tenga una elevada afinidad por el tipo específico de metal contaminante, mientras que en el segundo caso el bioadsorbente debe tener una gran capacidad de retención de metales pesados en general (Kratochvil et al., 1998).
- Respecto al origen de los bioadsorbentes, se señala que pueden ser usar residuos procedentes de diversas actividades industriales, por lo que su precio es muy bajo (Vieira y Volesky, 2000).

1.1.5 Bioadsorción

Entre las técnicas empleadas para el tratamiento de metales pesados se encuentran la precipitación química, la adsorción, los métodos electrolíticos, el intercambio iónico, la extracción con disolventes, la oxidación o reducción química, filtración, sistemas de membrana y ósmosis inversa (Yurtsever y Şengil, 2009). Sin embargo, estos métodos requieren una alta inversión de capital y crean problemas de eliminación de lodos. La mayoría de los estudios recientes para eliminar metales pesados de soluciones acuosas se centran en la producción de

adsorbentes mucho más eficaces y de bajo costo a través de materiales naturales (Hawari y Mulligan, 2006).

Debido a la complejidad de los biomateriales utilizados, es posible que diferentes mecanismos actúen simultáneamente en diversos grados dependiendo del bioadsorbente y del entorno de la solución (Bohumil Volesky, 2003).

1.1.6 Mecanismos de bioadsorción

Los mecanismos de adsorción varían y dependen en cada caso del metal y del material. Los biosorbentes vegetales se utilizan para la extracción de metales pesados porque sus proteínas, carbohidratos y componentes fenólicos que contienen grupos carboxil, sulfatos, fosfatos y grupos amino que pueden atrapar los iones metálicos (Acosta et al., 2008; Kratochvil et al., 1998; Schiewer y Volesky, 2020). Si el biosorbente es de origen orgánico, la extracción de metales se atribuye a los grupos amino y fosfatos en los ácidos nucleicos; grupos amino, amida y carboxílicos en las proteínas; grupos hidroxil, carboxil (Martínez et al., 2006). Los taninos son una biomasa natural que contiene múltiples grupos hidroxilo adyacentes y que exhibe afinidad específica por los iones metálicos, probablemente se pueden usar como adsorbentes alternativos, efectivos y eficientes para la recuperación de iones metálicos. Los taninos son extractos naturales de plantas y contienen un alto contenido de múltiples hidroxilos fenólicos adyacentes en sus moléculas, y por lo tanto tienen una gran capacidad de quelación hacia muchos iones de metales pesados, como Cr (VI) y Cd (II) (Meethale & Thirumalaisamy, 2015).

1.1.7 Principales factores que afectan el proceso de bioadsorción

A. Efecto de la temperatura

La temperatura es un factor que influye en los procesos de adsorción. La bioadsorción se incrementa a medida que se aumenta la temperatura capacidad de adsorción en equilibrio del Cr (VI) y el gel de taninos se ve favorecida con el aumento de temperatura lo que indica que la adsorción es endotérmica y cuando la adsorción se lleva acabo a bajas temperaturas indica que la adsorción es exotérmica. Hay tres factores que pueden explicar este fenómeno: (1) el aumento del tamaño de los poros

y/o la activación de la superficie adsorbente a temperaturas más altas; (2) el aumento de moléculas activadas al aumentar la temperatura, lo que lleva a un aumento de la frecuencia de colisiones entre moléculas (Acosta et al., 2008; Liao et al., 2004; Sánchez et al., 2011).

B. Efecto del pH

El pH ha sido identificado como uno de los parámetros más importantes, que es efectivo sobre la sorción de metales. Está directamente relacionado con la capacidad de competencia de los iones de hidrógeno con los iones metálicos por los sitios activos de la superficie del biosorbente. El efecto del pH sobre la biosorción de iones Cd (II) en polvo de hojas de *P.avium* se estudió a un pH de 1 a 8. La máxima biosorción se observó a pH 6.5 para Cd (II). Los mecanismos de biosorción en la superficie del polvo de las hojas de *P.avium* reflejan la naturaleza de la interacción fisicoquímica de la solución. El pH de la fase acuosa es el factor más importante en la bioadsorción de cationes como de aniones, y tiene efectos diferentes en ambos casos. Mientras que los valores de pH superiores a 4,5 generalmente favorecen la bioadsorción de cationes, la adsorción de aniones favorece valores pH, más bajos es decir de 1.5 y 4. El porcentaje de eliminación de iones Cr (VI) disminuye rápidamente con el aumento del pH y los iones Cr (VI) casi desaparecen a un pH <2,5 (Liao et al., 2004; Nabizadeh et al., 2005; Schiewer y Volesky, 2000).

C. Efecto de tamaño de partícula

En el proceso de biosorción, la capacidad del biosorbente para retener metales pesados y el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, son dos parámetros que están relacionados con el tamaño de partícula del biosorbente utilizado. Muchos investigadores han demostrado que la mayoría de los metales se retienen de forma más efectiva cuando disminuye el tamaño de partícula del sólido adsorbente, fundamentalmente aquellos relacionados con procesos de adsorción en la superficie de la partícula, con el intercambio iónico o en la formación de complejos en dicha superficie (Tarley y Arruda, 2004).

D. Efecto de la Concentración inicial de iones Cromo (VI) y Cadmio (II)

La cantidad de metal eliminado por los bioadsorbentes aumenta en proporción directa con la concentración del ion metálico en solución (Acosta et al., 2008; Acosta et al., 2007; Liao et al., 2004).

E. Efecto del tiempo de contacto en equilibrio

El tiempo de equilibrio necesario para la biosorción depende de las concentraciones iniciales y la concentración del bioadsorbente, aumenta bruscamente con el aumento del tiempo hasta alcanzar el tiempo de contacto que es una consideración muy importante para el tratamiento de las aguas residuales. La biosorción es importante para experimentos de biosorción. Por lo tanto, se investigó el efecto del tiempo de contacto sobre la biosorción de Cd (II). El rendimiento de biosorción de Cd (II) aumentó considerablemente hasta que el tiempo de contacto alcanzó los 120 min. Un aumento adicional en el tiempo de contacto no mejoró la biosorción, por lo que se seleccionó el tiempo de contacto óptimo como 120 minutos para experimentos adicionales (Madala et al., 2017).

1.1.8 Isoterma de bioadsorción

En general la cantidad de materia adsorbido, se determina en función de la concentración de los iones metálicos Cr (VI) y Cd (II) a temperatura constante y la función resultante se denomina de isoterma de adsorción; los modelos más frecuentemente empleados para el tratamiento de los datos experimentales son las isotermas de Langmuir (1915) y el de Freundlich (1939) (Davis et al., 2003; Kim et al., 2012; Naik et al., 2023; Romera et al., 2007).

Ecuación de la isoterma de Langmuir (Jin et al., 2019).

$$Q_e = Q_{m\acute{a}x} \frac{Q_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$Q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2)$$

Ecuación de la isoterma de Freundlich (Jin et al., 2018).

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{max} * K_F} + \frac{C_e}{Q_{max}} \quad (3)$$

$$\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

1.1.9 Cinética de la bioadsorción

Estudio de cinética de bioadsorción para Cd (II) y Cr (VI) sobre gel de taninos, describe la velocidad de absorción de solutos, se controla el tiempo de residencia del adsorbato en la interfaz de la solución sólida. La velocidad de adsorción se puede calcular a partir del estudio cinético. Para averiguar el mecanismo de adsorción y los pasos de control de la velocidad potencial, como la reacción química, el control de la difusión y el proceso de transporte de masa, se han utilizado modelos cinéticos para probar datos experimentales de la bioadsorción de iones de Cd (II) y Cr (VI) en el tanino. Estos modelos cinéticos se analizan utilizando modelos de difusión de Pseudo primer orden, Pseudo segundo orden y Elovich (Meethale & Thirumalaisamy, 2015).

1.1.10 Metales Pesados

La contaminación del agua, el aire y el suelo por metales pesados, es uno de los problemas ambientales más graves, y de muy difícil solución. Las fuentes más comunes de contaminación por estos metales son: procesos de extracción de petróleo, los procesos metalúrgicos y las plantas generadoras de energía (Anjum et al., 2023; Sadegh et al., 2023). Los metales pesados (plomo, cobre, cadmio, zinc, cromo, etc.) son tóxicos a bajas concentraciones. Todos ellos son no biodegradables y su amenaza se multiplica por su acumulación en el medio ambiente a través de la cadena alimentaria (Devaprasath et al., 2007; Schiewer y Volesky, 2000).

A. Cromo

En las aguas naturales el cromo existe como Cr^{3+} , $Cr(OH)_2$, y $Cr(OH)_4^-$; en la forma hexavalente el cromo existe como $(CrO_4)^{2-}$ y como $(Cr_2O_7)^{2-}$. El Cr^{3+} se encuentra formando complejos fuertes con aminas y

puede ser adsorbido por minerales arcillosos, el cromo puede existir en las fuentes de agua, tanto en el estado trivalente como hexavalente, aunque, la forma trivalente raramente existe en el agua potable (Aydin y Soylak, 2009; Kratochvil et al., 1998) . El cromo se puede encontrar presente en agua y suelo principalmente en dos formas de oxidación: Cr (III) o Cr (VI), también puede encontrarse como óxido de cromo, sulfato de cromo, trióxido de cromo, ácido crómico y bicromato, en presencia de la materia orgánica, el Cr (VI) se encuentra en aguas y suelos se reduce a Cr (III), pero, las altas concentraciones del ion en estado hexavalente pueden superar esta capacidad de reducción, lo que impide su eliminación adecuada (Bai y Abraham, 2001; Navas y Lindhorfer, 2003). Los compuestos de cromo hexavalentes se consideran cancerígenos y corrosivos para los tejidos cuando se inhalan. La dureza y la alcalinidad del agua están relacionados con las pautas para la presencia de cromo en aguas naturales están asociadas con la dureza y alcalinidad del agua. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación recomienda un nivel máximo 1.00 mg/l para agua de riego. El estándar principal MCL de la U.S. EPA para agua de bebida es de 0.1 mg/l para el cromo (Park et al., 2005; Pawlisz et al., 1998; Zhu et al., 2022).

B. Cadmio

En las aguas naturales, el equilibrio de carbonatos regula la solubilidad del cadmio es controlada. La dureza o alcalinidad del agua determina la máxima concentración de cadmio en las aguas naturales. No es un necesario para las plantas y animales. El cadmio es un metal pesado tóxico que no solamente causa asfixia, dolor abdominal, anemia, disfunción renal y diarrea, sino que ha clasificado como cancerígeno por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Chang et al., 2012; Nai et al., 2015; Shin y Rowell, 2005). El Cadmio proviene principalmente de la minería de metales no ferrosos que son fuente principal de liberación de cadmio al efluente acuático, también la contaminación se debe al agua de drenado de minas y al procesamiento de minerales (Bhattacharya y Venkobachar, 1984; Dianati y Ali, 2004; Nadia et al., 2022). Las aguas residuales que contienen cadmio procedente de las industrias y relaves

mineros suelen acabar contaminado el suelo. Otra fuente importante de emisión de cadmio en la producción de fertilizantes fosfatados, parte del cadmio termina en el suelo y luego del regadío terminará en las aguas residuales (Acosta et al., 2007; Faisal et al., 2023; Samrane et al., 2023; Shin et al., 2007). El cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo y puede ser transportado a grandes distancias cuando es adsorbido por el lodo, esto puede ser extremadamente peligroso ya que pasa a las plantas, llegando así a los animales que se alimentan de ellas, causando un daño potencial en los animales (Gao, 2022; (Martínez y Moreno, 2005; Puga et al., 2006; Vásquez et al., 2001; Zou et al., 2021).

C. Efectos en la salud del Cr (VI) y Cd (II):

La toxicidad del cromo tiene efectos nocivos potenciales como sustancias carcinógenas, mutagénicos y teratogénicas y también causan daño tisular. El Cromo existe en varios estados de oxidación (III y VI), más estable como Cr (III) y Cr (VI). El Cr (VI) es la forma tóxica del elemento, El Cr (III) también es tóxico a altas concentraciones (Léonard y Lauwerys, 1980; Mala et al., 2006). El cadmio es extremadamente tóxico y se acumula en los riñones y en el hígado, con ingestión prolongada de bajos niveles muchas veces produce falla de funcionamiento en los riñones; la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación recomienda un nivel máximo de cadmio en el agua de riego de 10 g/L. El estándar primario MCL para agua de bebida de la U.S. EPA es de 10 g/L (Maity et al., 2023; Saatloo et al., 2023). En la tabla 1 se muestra los efectos que producen los metales pesados en los seres humanos.

Tabla 1

Tipo de metales pesados y efectos en los seres humanos

Metales pesados	Fuente Principal	Efecto toxico
Plomo	Minería, pintura, pigmentos, galvanoplastia, fabricación de baterías, quema de carbón.	Anemia, daño cerebral, anorexia, malestar general, pérdida de apetito, hígado, riñón, daño gastrointestinal, retraso mental en niños.
Cobre	Enchapado, pulido de cobre, pintura, operaciones de impresión.	Enchapado, pulido de cobre, pintura, operaciones de impresión.
Cadmio	Plástico, soldadura, pesticidas, fertilizantes, minería, refinación.	Daño renal, bronquitis, Trastorno gastrointestinal, médula ósea, cáncer, insuficiencia pulmonar, hipertensión, enfermedad de Itai-Itai, pérdida de peso.
Zinc	Minería, refineras, fabricación de latón.	Causa a corto plazo “fiebre de humo de metal”, malestar gastrointestinal.
Mercurio	Baterías, industria papelera, industrias de pintura, minería.	Daño al sistema nervioso, envenenamiento por protoplasma, corrosivo para la piel, ojos, músculos, dermatitis, daño renal.
Níquel	Esmaltado de porcelana, metal no ferroso, formulación de pintura, galvanoplastia	Bronquitis crónica, función pulmonar reducida, cáncer de pulmón,
Arsénico	Fundición, minería, sedimentación de rocas, pesticidas.	Bronquitis, dermatitis, depresión medular, hemólisis, hepatomegalia.
Cromo	Textil, teñido, pinturas y pigmentos, fabricación de acero.	Carcinogénico, mutagénico, dolor epigástrico, náuseas, vómitos, diarrea severa, producen tumores pulmonares.

Nota. Elaborado por Abbas et al. (2014); Shin et al. (2007).

1.1.11 Tratamiento de metales pesados en efluentes industriales

Teniendo en cuenta los efectos que tienen los metales pesados, es evidente que se hace necesario su eliminación en los diversos efluentes; las industrias se ven obligadas a reducir la cantidad y la peligrosidad de sus vertidos al medio ambiente, a causa de las presiones legales, sociales y económicas, este hecho ha conducido a que dichas industrias concentren sus esfuerzos en evacuar sus efluentes más limpios y en reciclar o reutilizar su contenido en proporciones significativas (Abdelfattah et al., 2023; Baig et al., 2003; Hidalgo, 2004). Para eliminar metales pesados de efluentes líquidos se han empleado diferentes tecnologías como la coagulación y floculación, precipitación química, adsorción, electrolisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, etc. (Acosta et al., 2008; Dianati y Ali, 2004; Park et al., 2005; Samavati et al., 2023; (Soto et al., 2006). En general, estas tecnologías son inadecuadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales al no conseguir reducir su concentración por debajo de los límites permitidos por la legislación y al no alcanzar una diferenciación clara en su composición, dificultando su reciclaje o reutilización de los subproductos, creando además problemas secundarios como lodos extremadamente difíciles de trabajar y con costos demasiado altos (Baig et al., 2003; Fei y Hu, 2023; Mahvi et al., 2007; Park et al., 2005). Para soluciones con una alta concentración de metales pesados con cientos o miles de mg/L, pueden emplearse algunas de las tecnologías citadas; sin embargo, cuando las concentraciones son de son de baja concentración en mg/L se requieren métodos más complejos (Davis et al., 2003; Romera et al., 2007). La contaminación industrial que involucra tintes conduce a aguas coloreadas que pueden destruir el equilibrio ambiental. Muchos tintes son tóxicos e incluso cancerígenos. Aunque algunos de ellos se utilizan en la producción farmacéutica, la gran exposición a ellos puede causar varios efectos nocivos. El azul de metileno, que es el seleccionado en la investigación actual, puede causar un aumento de la frecuencia cardíaca, vómitos, cianosis, ictericia y muchas otras lesiones peligrosas (Zhang y Tian, 2020).

1.2 Antecedentes

1.2.1 Internacionales

Kim et al. (2007) y Nakano et al. (2001) indican que la gelificación se ha descrito como una forma efectiva de eliminar varios contaminantes de las aguas residuales. Se encuentran muchas referencias en la extracción o recuperación de metales mediante estos nuevos adsorbentes con respecto a la adsorción de Pb^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} con el gel de tanino Valonia con una efectividad promedio de 100 mg.g^{-1} , 25 mg.g^{-1} y 20 mg.g^{-1} , respectivamente. Los metales Cr^{6+} o Pd^{2+} también se experimentaron con el mismo gel.

Acosta et al. (2008) investigaron la bioadsorción de cromo (VI) por la cáscara de mamey (*Mammea americana* L) encontrando que la remoción total del Cromo (VI) con una concentración inicial de (100 mg/L), ocurre a los 50 minutos, a pH de 1.0 y 28°C ; la temperatura, la más alta remoción se observó a 60°C , a los 12 minutos, el metal (1 g/L) se remueve completamente.

Netzahuatl (2010) determinó que la velocidad remoción de Cr (VI) por las cortezas de ciprés y eucalipto aumenta con la disminución del tamaño de partícula, la capacidad de remoción de cromo total por las cortezas de ciprés y eucalipto a una concentración inicial de 400 g/L de Cr (VI) es 230 mg/g; el bioadsorbente en estudio remueve más rápidamente Cr (VI) a pH de 1.5 y el incremento de la temperatura afecta la velocidad de remoción.

Issaoui et al. (2021) investigaron una mezcla de taninos y licor de lignina como bioadsorbente de metales pesados (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} y Pb^{2+}) obteniendo capacidades de adsorción de 46.5; 41; 29.1 y 100 mg.g^{-1} para Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} y Pb^{2+} respectivamente. Con las isotermas de adsorción de Redlich y Peterson y los modelos cinéticos de Elovich para los iones en estudio demostraron que el bioadsorbente fue eficiente y de bajo costo para la eliminación de metales pesados de las aguas contaminadas.

Zhang y Tian (2020) usaron gel tánico de castaña (*Castanea sativa*) y quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) con los cuales mostraron adsorciones máximas de Cr (VI) 80.64 mg/g y 26.5 mg/g respectivamente. La influencia del valor del pH en la adsorción y comparar el Espectro IR de los adsorbentes antes y

después de la adsorción. Con el análisis de los procesos de protonación y desprotonación de los grupos funcionales se puede inferir el mecanismo de adsorción de cromo, proporcionando una posible base para el estudio del mecanismo de adsorción de cromo.

Naik et al. (2023) llevaron a cabo pruebas de adsorción para diferentes combinaciones de cáscara de arroz y cáscara de naranja, variando la dosis, el tiempo de contacto, el pH y la velocidad de mezcla, determinaron los niveles óptimos que dan como resultado niveles máximos de eficiencia de eliminación de metales pesados. Para determinar la eficiencia de los adsorbentes, se construyeron isotermas de Redlich-Peterson utilizando diferentes combinaciones de cáscara de naranja y cáscara de arroz en diferentes condiciones de pH y temperatura.

Mack et al. (2007) menciona que la capacidad de bioadsorción de un material depende principalmente del tipo de especies iónicas en las que se encuentre presente el metal en solución, de la composición química del bioadsorbente y del pH de la solución, debido a que esto determina las interacciones que puedan darse entre el metal y los grupos funcionales del material biológico.

Schiewer y Volesky (2000); Davis et al. (2003) mencionan que otros factores que también afectan el proceso de sorción son: la concentración del metal, la temperatura, el tiempo de contacto, el tamaño de partícula del biosorbente, la porosidad del material, la fuerza iónica y la presencia de otros metales en la solución.

Dávila (2012) reporta un trabajo realizado donde utiliza el método de bioadsorción de Cd (II), Cu (II) y Pb (II) propuesto como intercambio iónico con los iones Ca^{2+} y los protones (H^+) presentes inicialmente en residuos de café pre-tratados (RSCT). La capacidad de biosorción en el equilibrio fue de 0.12, 0.24 y 0.32 mmol/g, la cinética de biosorción más rápida con una velocidad de agitación de mayor o igual a 300 min^{-1} ; un aumento en la concentración inicial del metal aumenta la capacidad de bioadsorción de la biomasa.

Salem et al. (2012) indican que utilizaron un nuevo biosorbente de hojas de *Prunus avium* (cereza dulce) para eliminar el cadmio (II) de soluciones

acuosas. Se descubrió que la biosorción de cadmio (II) depende del pH de la solución, las concentraciones iniciales de iones metálicos, la dosis de biosorbente y el tiempo de contacto. Los datos experimentales de biosorción en equilibrio se analizaron mediante dos modelos isotérmicos de dos parámetros ampliamente utilizados: Langmuir y Freundlich. El modelo de Langmuir dio un mejor ajuste que el modelo de Freundlich. Los estudios cinéticos indicaron que el proceso de biosorción de los iones de cadmio se representó mejor con el modelo de Pseudo segundo orden. Se concluyó que el polvo de hojas de *Prunus avium* se puede utilizar como un biosorbente eficaz, de bajo costo y respetuoso con el medio ambiente para la eliminación de iones Cd (II) de una solución acuosa.

Bacelo et al. (2016) afirman que los taninos son excelentes candidatos para producir biosorbentes, estos son biopolímeros naturales de bajo costo y de fácil extracción y conversión en productos insolubles, como geles de taninos inmovilizados. La Tabla 2 presenta las capacidades máximas de adsorción (Q_m), reportadas en la literatura, para diferentes taninos basados en adsorbentes, sobre la absorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Es importante señalar que los valores de Q_m dependen principalmente de la temperatura y el pH, pero su cálculo también depende de la dosis de adsorbente utilizada. Como se muestra a continuación en la tabla 2.

Tabla 2

Capacidades máximas de adsorción para diferentes adsorbentes

Adsorbente	Adsorbato	Q_m mmol g ⁻¹	Condiciones
Gel de tanino condensado	Cr (VI)	5.52	pH 2.0, 303 K, 5–50 g L ⁻¹ , 19.7 mmol L ⁻¹
Gel de tanino de Caqui (<i>Persimmon</i>)	Cr (VI)	5.27	pH 3.0, 303 K, 0.2 g L ⁻¹ , 0.2–2 mmol L ⁻¹
Gel de tanino de Acacia (<i>Wattle</i>)	Cr (VI)	9.39	pH 1.0, 298 K, 2.0 g L ⁻¹ , 9.6–96 mmol L ⁻¹
Gel de tanino de Caqui (<i>Persimmon</i>)	Cr (VI)	7.18	pH 1.0, 303 K, 1.0 g L ⁻¹ , 0–10* mmol L ⁻¹
Perla de sílice mesoporosa inmovilizada con taninos	Cr (III)	1.3	pH 5.5, 303 K, 1.0 g L ⁻¹ , 0.1–4.0 mmol L ⁻¹
Gel de tanino de Acacia (<i>Wattle</i>)	Pb (II)	0.56	pH 4.2, 1.0 g L ⁻¹ , 0–0.4* mmol L ⁻¹
Resina de tanino de Quebracho (<i>Schinopsis balansae</i>)	Pb (II)	1.42	pH 5.0, 296 K, 1.0 g L ⁻¹ , 0.05–0.7 mmol L ⁻¹
Resina de tanino Valonia	Pb (II)	0.67	pH 5.0, 1.0 g L ⁻¹ , 0.2–0.5 mmol L ⁻¹
Resina de tanino Valonia	Cu (II)	0.71	pH 5.0, 1.0 g L ⁻¹ , 0.08–1.6 mmol L ⁻¹
Gel de tanino de mimosa	Cu (II)	0.69	pH 5.0, 298 K, 1.0 g L ⁻¹ , 0.2–2.3 mmol L ⁻¹

Nota. Elaborado por Bacelo et al. (2016); Liao et al. (2004); Sánchez et al. (2011).

Tabla 3

Taninos bioadsorbentes

Taninos bioadsorbentes	Metales removidos	Q_m , pH
Tanino adsorbente (<i>Eucalyptus saligna</i>)	Cr(VI)	47.87 mgg ⁻¹ , pH 2
Tanino adsorbente (<i>Lysiloma latisiliquae</i>)	Cr(VI)	197.58 mgg ⁻¹ , pH 2
Tanino condensado de mimosa	Cr(VI)	287.0 mgg ⁻¹ , pH 2
Tanino condensado Wattle	Pb(II)	114.9 mgg ⁻¹ , pH 4.2
Corteza de <i>Pinus Pinaster</i>	Cd(II)	pH ≥6

Nota. Elaborado por Batool et al. (2023).

Yi et al. (2016) investigaron las características de adsorción del oro y el paladio de soluciones de ácido clorhídrico en el adsorbente de tanino de caqui modificado con etilendiamina (EPPFR). Los grupos amina se introdujeron con éxito en la resina de tanino de caqui para preparar este adsorbente bifuncional. Se estudiaron en detalle los efectos de la concentración de HCl, el tiempo de contacto, la concentración de iones metálicos y la temperatura. Los presentes resultados sugirieron que este adsorbente basado en tanino EPPFR puede servir como un adsorbente potencial para la recuperación de Au (III) y Pd (II) del licor de residuos de PCB en soluciones de ácido clorhídrico.

Cuetocue et al. (2020) prepararon adsorbente de los taninos de la corteza de Pino (*Pinus patula*) para recuperar Au (III) utilizando ácido sulfúrico como un agente reticulante. La espectroscopia infrarroja permitió determinar los grupos OH ($3400 - 63660 \text{ cm}^{-1}$). Mediante análisis BET se encontró que presenta una superficie de $4172 \text{ m}^2/\text{g}$ y un tamaño de partícula de 1 a $10 \text{ }\mu\text{m}$ mediante experimentos SEM. El mostró selectividad hacia el Au sobre otros metales con una adsorción de oro superior al 99% en concentraciones más bajas de HCl (0.1 – 5N) y una adsorción del 10 – 19% para Cu (II), Fe (III), Zn (II), Ni. (II) en condiciones experimentales. Los datos de la isoterma de adsorción de Au (III) fueron mejor descritos por el modelo de Langmuir ($R^2 = 0.9855$) en el rango de concentración estudiado que describe la formación de monocapa. La capacidad máxima de adsorción de Au (III) se alcanzó con 666.67 mg L^{-1} de adsorbente.

Wattanakornsiri et al. (2022) menciona que los grupos modificados químicamente mostraron los mayores porcentajes de eliminación de Pb (II) y Cd (II) con un 97.867% y 97.100% respectivamente. Una dosis de adsorbente con valores de 0.25 g, pH de 4, un tiempo de contacto de 180 min. La adsorción se desarrolló según la cinética de pseudo segundo orden, el modelo de Langmuir proporcionó el mejor ajuste. Se determinó que los valores de capacidad de adsorción de la monocapa de Langmuir de los biosorbentes eran $97,087 \text{ mg(Pb}^{2+})/\text{g}$, $114,943 \text{ mg(Pb}^{2+})/\text{g}$, $103,093 \text{ mg(Pb}^{2+})/\text{g}$ y $86,207 \text{ mg(Cd}^{2+})/\text{g}$, $102,041 \text{ mg(Cd}^{2+})/\text{g}$, $89,286 \text{ mg(Cd}^{2+})/\text{g}$ para las cáscaras de fruta de dragón (DFP), cáscara de rambután (RP) y cáscara de maracuyá (PFP), respectivamente. Los resultados indican que estos biosorbentes podrían eliminar eficientemente Pb

(II) y Cd (II) y servir como adsorbentes económicos y prometedores para la eliminación de metales pesados de aguas residuales contaminadas.

Batool et al. (2023) investigaron que concentración inicial de metal de 25 mg/L, se encontró que la Rosa de Castilla (*R. damascena*) modificada químicamente elimina el 95% y el 91% de Pb (II) y Cd (II), respectivamente, en las condiciones óptimas: pH 6.5, tiempo de reacción: 2 h, 10 g/L de dosis y 120 rpm de velocidad de agitación. Sus capacidades de adsorción de metales fueron de 24.9 y 24.8 mg/g para Pb (II) y Cd (II), respectivamente. La isoterma de Langmuir fue aplicable para simular la adsorción de ambos metales objetivo, mientras que el modelo de pseudo segundo orden se ajustó bien a su cinética. Los resultados de la caracterización implicaron el papel de ciertos grupos funcionales del biosorbente como donantes de electrones. Esto indica que el enlace puente de hidrogeno estuvo involucrado en la quimisorción de metales objetivo por el biosorbente.

Ampiauw y Lee (2020) indican que los taninos a base de caqui (*Persimon*), gel de tanino de acacia negra (*Wattle*) y gel de tanino condensado son bioadsorbentes eficaces para la adsorción de Cr (VI). En la Tabla 4 se muestra la máxima capacidad de adsorción para el Cr (VI).

Tabla 4

Máxima capacidad de adsorción de Cr (VI) (Qm)

Adsorbato objetivo	Absorbente	Qm (mol/Kg)
Cr (VI)	Gel-tanino de acacia negra (Wattle)	9.39
Cr (VI)	Gel de tanino condensado	5.52
Cr (VI)	Gel de residuos de caqui (Persimmon)	7.18
Cr (VI)	Persimon tanino gel	5.27

Nota. Elaborado por Islam et al. (2019); Nakajima y Baba (2004); Nakano et al. (2001).

1.2.2 Nacionales

Apaza y Huahuala (2019) mencionan que la bioadsorción por algas marinas, es una excelente alternativa para la descontaminación de diferentes

efluentes industriales, sobre todo en aquellos cuyas concentraciones de iones metálicos oscilan en el orden de 1 a 100 mg/L; así mismo se aplicó las variables óptimas a un efluente industrial, con lo que se determinó que se alcanza una eficiencia de adsorción del 60.46% con respecto al cadmio (II).

Pacheco et al. (2010) mencionan que la biomasa residual del café, químicamente modificada, fue utilizada para evaluar la adsorción y la cinética de los iones plomo (II) y cadmio (II) se comprueba que el biosorbente preparado tiene preferencia por el ion plomo (II) frente al ion cadmio (II); el proceso de adsorción está representado por el modelo cinético de Pseudo Primer Orden, Elovich y Reversible de Primer Orden.

Maldonado-Farfán et al (2021) evaluaron la biomasa de yuca como bioadsorbente del Cr(III) en soluciones acuosas de lecho fijo descendente, utilizaron una concentración inicial $C_0 = 49.36$ mg/L y obtuvieron una capacidad optimiza de bioadsorción de Cr(III) de $Y=28.66$ mg/g.

Paccha Rufasto y Paccha Huamani (2023) utilizaron los residuos agroindustriales (cascara de arroz, castaña, coco) como biomasa de bajo costo para eliminar metales pesados de las aguas residuales, así la cascara de castaña tiene una capacidad adsorción de 150 mg/g.

1.2.3 Locales

A nivel local Miranda (2017) en su investigación utilizó como bioadsorbente hojas residuales del árbol de eucalipto (*Globulus labill*) para la bioadsorción de Cr(VI), se plantea la evaluación de aguas residuales de curtiembre obteniendo un 90.88 % de adsorción de Cr(VI) mediante la Cinética de Pseudo Segundo Orden, también menciona que el modelo de la Isoterma de Freundlich da el mejor ajuste de adsorción.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

El cromo (VI) y el cadmio (II) son muy perjudiciales para el medio ambiente, las plantas y los animales. Estos metales pesados contribuyen a la contaminación ambiental y por tanto, es imprescindible la eliminación de estos metales en las aguas residuales. El problema principal se presenta en la cuenca del Río Ramis donde la contaminación es producida por la actividad minera informal de extracción de oro en el distrito de Ananea. La presencia de sedimentos y metales pesados viene causando la muerte paulatina del río Ramis afectando a los miles de pobladores que viven en la zona, causando problemas a la salud, perjudicando la producción agraria y ganadera (Miranda, 2017). El Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos como la Autoridad Nacional del Agua, evidenciaron de Cadmio (Cd) y el Cromo (Cr), en las zonas colindantes y dentro del área de influencia de la actividad minera aurífera, como consecuencia de estos resultados las aguas no son aptas para consumo humano, tampoco son aptas para uso de bebida de animales y riego de vegetales (Pacheco et al., 2010). También existe contaminación por cromo en las aguas residuales provenientes de las curtiembres y la contaminación por cadmio en el manejo de material residual de las pilas. Los altos niveles de cromo en el organismo, presentan efectos nocivos como sustancias carcinógenas que causan daño tisular. El cadmio es un metal pesado tóxico que causa asfixia, dolor abdominal, anemia, disfunción renal y también está clasificado como cancerígeno. Ante la problemática mencionada se presenta la alternativa. “Bioadsorción de iones Cromo (VI) y Cadmio (II) de soluciones acuosas con gel tánico de corteza de Queñua (*Polylepis spp*)”.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

¿El gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) realizara la bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se puede extraer y caracterizar el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis* spp)?
- ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis* spp) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II)?
- ¿La evaluación del pH y la temperatura en un diseño experimental determinara el porcentaje de bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II)?

2.3 Justificación

Los efluentes industriales y mineros con contenido de cromo y cadmio contribuyen de manera perjudicial al medio ambiente siendo imprescindible el tratamiento de las aguas residuales. Las aguas del Río Ramis actualmente se encuentran contaminadas a causa de la minería informal del Distrito de Ananea en los sectores de la Rinconada y Cerro Lunar de Oro, en las concesiones mineras de la Corporación Minera Ananea, Pampa Blanca, Chaquiminas, Anacoccala y Huachan. En los cuales se realiza la explotación minera sin contar con un instrumento de gestión ambiental. La Dirección de Salud realizo el monitoreo de los recursos hídricos en la cuenca del río Ramis, el con el Programa Nacional de Vigilancia, el cual cuenta con la colaboración del Gobierno Regional de Puno y otras instituciones locales. Durante el monitoreo se tomaron: 17 muestras de agua y 01 muestra del efluente minero para el análisis de metales pesados, como el cromo (VI) y el cadmio (II). Según la Dirección Regional de Energía y Minas, en el Río Ramis se han encontrado la presencia de cromo y cadmio por encima de los límites permisibles; para el Cromo aguas abajo de Ananea 112 $\mu\text{g/L}$, aguas abajo San Antón 7.35 $\mu\text{g/L}$, aguas abajo Azángaro 4.64 $\mu\text{g/L}$ y en el Puente Saman 4.41 $\mu\text{g/L}$, siendo el límite máximo permitido de 1.000 $\mu\text{g/L}$; en cuanto al Cd su presencia en aguas abajo de Ananea 1,23 $\mu\text{g/L}$, aguas abajo San Antón 0.24 $\mu\text{g/L}$, aguas abajo Azángaro 0.24 $\mu\text{g/L}$ y en el Puente Samán 0.24 $\mu\text{g/L}$, siendo el límite máximo permitido de 0.020 $\mu\text{g/L}$ (Miranda, 2017). Por otro lado, se cuenta con bosques de queñua, en las provincias de Lampa, Chucuito, Azángaro, San Antonio de Putina. A si mismo las mineras Ares, Ananea, San Rafael, Antamina, entre otras, se están preocupando por generar bosques de queñua como parte sus programas de impacto ambiental, también forma parte de los programas de reforestación del Ministerio de Agricultura, por lo que se podrá contar en

el futuro con grandes bosques de queñua, que servirán para la biorremediación de los metales pesados.

2.3.1 Justificación técnica

El proceso de bioadsorción es ampliamente estudiado con materiales de origen biológico que tienen la característica principal de presentar en su pared celular biopolímeros como la celulosa, hemicelulosa y lignina que poseen grupos funcionales que forman enlaces con los iones metálicos. Para la presente investigación se utilizó la corteza de queñua (*Polylepis spp*) que está constituida laminillas que rodean al árbol, que es el material para obtener el gel tánico, con un rendimiento de 85%, con el que se realizaran los experimentos para la bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II) en un proceso discontinuo, obteniendo un porcentaje de remoción de 90 a 98 %, relaciones de equilibrio, cinética de adsorción, para ser aplicados en tratamiento de efluentes de aguas residuales industriales.

2.3.2 Justificación económica

La biosorción tiene una ventaja comercial potencial sobre otras tecnologías tradicionales de tratamiento de aguas residuales, ya que es más barata y respetuosa con el medio ambiente, especialmente cuando se utiliza como biomasa natural. El gel tánico de la queñua (*Polylepis spp*) es un bioadsorbente de bajo costo (S/.100/kg) que se usa para remover Cr (VI) y Cd (II) que se encuentran en los efluentes de aguas residuales industriales de curtiembre, de operaciones mineras, de la industria textil y la industria de fertilizantes.

2.3.3 Justificación ambiental

La Ley General sobre el Medio Ambiente Ley N° 28611 y el Decreto supremo N° 004-2017-MINAM, fomentan la investigación ambiental, científica y tecnológica, en la investigación de tecnologías limpias, para dar una vida saludable a la población, en el tratamiento de residuos líquidos establece que las empresas o entidades que desarrollen actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales son responsables de su tratamiento, a fin de reducir los niveles de contaminación a los LMP y los ECAS.

Por lo que el proyecto de investigación propuesto pretende mitigar los impactos ambientales de las aguas residuales industriales que contienen metales pesados, como es el caso de del Cr (VI) y el Cd (II) para su remoción se utiliza el proceso de bioadsorción con gel tánico como una tecnología limpia.

2.3.4 Justificación social

La contaminación por metales pesados como el Cr (VI) y Cd (II), se ha convertido en un problema mundial debido a su alta toxicidad que a bajas concentraciones ocasiona daños para la salud, debido a su naturaleza de no biodegradable, alta capacidad de bioacumulación en el cuerpo humano, siendo cancerígeno debido al consumo de aguas que contienen estos metales pesados. El proceso de bioadsorción contribuye a la disminución de la concentración de metales pesados que no generen problemas de toxicidad en la población.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

- Evaluar la bioadsorción de los iones Cromo (VI) y Cadmio (II) de soluciones acuosas con el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*).

2.4.2 Objetivos específicos

- Obtener un bioadsorbente por extracción y caracterización de gel tánico de corteza de queñua (*Polylepis spp*).
- Determinar la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas.
- Evaluar el pH y la temperatura en un diseño experimental que determine el porcentaje de bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II).

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- Utilizando el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) como material bioadsorbente se conseguirá adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de las soluciones acuosas.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Con la extracción y caracterización del gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*), se obtendrá un eficiente material bioadsorbente.
- Con la evaluación de las isotermas de adsorción y con los modelos cinéticos se determinará la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas.
- Con la evaluación del pH y la temperatura en un diseño central compuesto de Box Behncken, se determinará adecuadamente el porcentaje de bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El desarrollo experimental se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química, en el Laboratorio de Investigaciones de la Universidad Nacional del Altiplano, localizado a 3827 m.s.n.m, a 15°50'26'' de latitud sur, 70°01'28'' longitud oeste del meridiano de Greenwich. Algunos análisis se efectuaron en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y Textil (UNI) Lima y para los análisis se enviaron al Laboratorio Analítico del Sur (LAS) acreditado por INACAL con registro N° LE - 050, ubicado en la Ciudad de Arequipa.

3.2 Población

La población son los bosques de queñua del Distrito de Lampa (Bosques de queñuales de Comunidad de Quello Quello) del departamento de Puno de los cuales se tomaron muestras para dar cumplimiento al primer objetivo. Para las soluciones acuosas se prepararon soluciones estándar de 1 L con una concentración de 100 mg/L de dicromato de potasio $K_2Cr_7O_4$ y de 1 L con concentración 100 mg/L de nitrato de cadmio tetrahidratado $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ para los ensayos que dan cumplimiento al segundo objetivo y al tercer objetivo.

3.3 Muestra

Se tomaron muestras de las cortezas de queñua del distrito de Lampa de dos puntos estratégicos como se muestra en la siguiente tabla 5:

Tabla 5

Coordenadas de los puntos de muestreo

Muestra	Coordenadas UTM		Altitud
	Este	Norte	
P - 01	356229.0	8308012.3	4050
P - 02	356216.7	8307659.7	4082

Nota. Elaborado con datos de UTM.

3.4 Método de investigación

La investigación se basa en el método cuantitativo, de nivel explicativo, de tipo experimental y a escala de laboratorio.

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Se consideró la siguiente metodología:

- a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos,
 - b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.
- **Materiales:** Vasos de precipitado: 100, 250, 500 y 1000 ml; matraces erlenmeyer: 50, 100, 250, 500 y 1000 ml; pipetas: 1, 5, 10 y 25 ml; fiolas: 250, 500, 1000 ml; bureta de 50 ml; soporte universal; probeta de 100 ml; embudos de vidrio; mortero con mazo de porcelana; placas Petri de vidrio 100x15mm; termómetro de laboratorio de 0 a 100 °C; desecador de vidrio y papel filtro Whatman N° 42.
 - **Equipos:** Balanza analítica, (METTLER TOLEDO); juego de tamices, (TAYLER ASTM 200); Estufa Memmert de 55 L modelo UN 55; Equipo de titulación, (METROHM SWISS modelo 715); pH-metro, (ORION tipo 42 A); Agitador magnético con calefacción, (LMIN tipo LE-302).
 - **Insumos:** Nitrato de cadmio tetrahidratado, $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (grado analítico Aldrich). dicromato de potasio, $K_2Cr_2O_7$ (grado analítico Aldrich); formaldehído al 37% (Merck), alcohol al 96%, agua ultrapura, agua destilada; ácido clorhídrico, HCl (37%), Merck); Hidróxido de sodio, NaOH (grado analítico, Merck); Ácido nítrico concentrado al 68% (HNO_3) (grado analítico Merck).

3.5.1 Método para la extracción y caracterización de la corteza de queñua (1er objetivo)

A. Extracción de la corteza de queñua

La corteza externa de la queñua (*Polylepis spp*) que consiste en láminas membranosas exfoliables, con espesor de 3 cm aproximadamente

(Figura 5). Para la extracción de compuestos fenólicos, se seguirá el método descrito por Echavarría et al. (2009); Camones et al. (2010).

Figura 5

Árbol de queñua (Polylepis spp)



Nota: Elaborado con la información de bosques de queñua.

A.1 Materia Vegetal

Las láminas de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) compuesta por muchas láminas que fueron secadas al ambiente y posteriormente trituradas en un molino de cuchillas Black Line donde se obtuvo partículas de menor tamaño que permitan extracción del tanino. Para el análisis granulométrico se utilizó un Tamizador SOILTEST, malla USA Standard Testing Sieve, W.S, TYLER, con 1.5 kg de capacidad. Para la determinación del tamaño de partícula, se pesaron muestras de 270 g al azar, se colocó la muestra en la parte superior del conjunto de tamices (malla 40, 60, 80), se agitó durante 10 minutos y luego se pesó el residuo en la bandeja, calculando el porcentaje con relación al peso inicial. Las partículas fueron almacenadas en ambiente de laboratorio a 15°C y con humedad relativa promedio de 60% (Gonçalves *et al.*, 2021). A las muestras recolectadas se determinó la humedad por método termogravimétrico por triplicado utilizando una Estufa Memmert de 60 litros modelo UF160.

A.2 Determinación de la humedad

El contenido de agua de la corteza de queñua, se determinará secando una muestra de 10 g con un tamaño de partícula de 2 mm, en una estufa de desecación a una temperatura de 85 - 95°C durante 6 – 8 h.

A.3 Obtención del Gel tánico

Para la obtención de taninos se realizó extracciones por triplicado, tomando 25 g de cada una de las muestras molidas con malla 80 (150 µm) que colocaron en balón de 250 mL de un equipo Soxhlet a reflujo total con refrigeración, se agregó 200 mL de alcohol al 95% y se calentó a 70°C durante 2 horas. Al finalizar este periodo de extracción las muestras se filtraron en papel filtro de filtración rápida, los extractos filtrados se colocaron en una placa Petri de de 100x15 mm, se llevó a la estufa por un periodo de 8 horas, después se determinó la cantidad de tanino extraído.

La obtención de gel tánico sigue el procedimiento recomendado por Nakano et al (2001). Se toma una muestra de extracto tánico de 5 g se agrega hidróxido de sodio 0.125 M más agua para diluir el extracto tánico se lleva a un agitador magnético con calefacción con placa cerámica una temperatura de 80°C, luego agregar 10 mL de formaldehido al 37% para la inmovilización del tanino, lográndose la polimerización del tanino durante 8 h. En la figura 7 se muestra el diagrama de flujo.

B. Caracterización de la corteza de Queñua

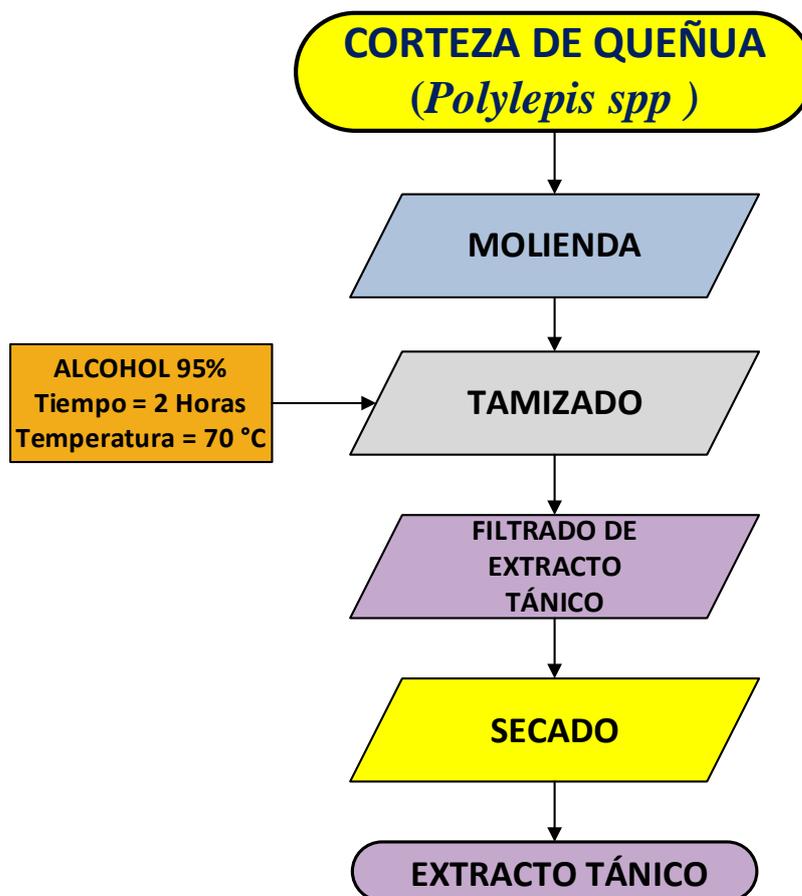
B.1 Análisis por espectroscopia infrarroja (FT-IR)

Se realizó un análisis por espectroscopia infrarroja (FT-IR) al extracto tánico y al gel tánico obtenido, para lo cual se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR) marca Perkin Elmer Spectrum Versión 10.0, con la finalidad de confirmar la química del tanino mediante la identificación de los grupos funcionales presentes en los metabolitos obtenidos (Laboratorio LAVICER).

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para la obtención de extracto tánico de la corteza de Queñua (*Polylepis spp.*

Figura 6

Diagrama de flujos para la obtención de gel tánico



Nota: Elaborado en base a la metodología de obtención del extracto tánico.

B.2 Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB o SEM)

La morfología del tanino gelificado se caracteriza por Microscopía de Electrónica de Barrido (SEM), utilizando el Microscopio Electrónico de Barrido marca ZEISS (MEB) denominado también Scanning Electron Microscope (SEM), este tipo de microscopio electrónico es capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia del tanino gelificado. También para caracterizar los taninos se realizaron determinaciones de humedad, pH, densidad aparente.

Figura 7

Diagrama de flujos para la obtención de gel tánico



Nota: Elaborado con la metodología empleada para la obtención de gel tánico.

3.5.2 Método para determinar la capacidad de bioadsorción de los iones Cr (VI) y Cd (II) (2do objetivo).

Para cumplir con el segundo objetivo de la presente investigación, se aplica la bioadsorción a los iones Cr (VI) y Cd (II) con el gel tánico de la corteza de queñua y se realiza la evaluación en las isothermas de adsorción y en los modelos cinéticos para conseguir la máxima capacidad de adsorción de los iones Cr (VI) y Cd (II), en el cual se prepararon las siguientes soluciones sintéticas: Solución estándar de Cromo (VI)

Se preparara una solución estándar de 100 mg/L de dicromato de potasio en agua desionizada, la cual se depositó en una fiola con tapa de 1000 mL (Kim y Nakano, 2005; Romera et al., 2007).

A. Solución estándar de Cadmio (II)

Se preparara una solución estandar de nitrato de cadmio de 100 mg/L en agua bidestilada, la cual se deposita en una fiola con tapa de 1000 mL (Romera et al., 2007; Volesky et al., 2003).

B. Procedimiento para la bioadsorción del Cr (VI) y Cd (II).

Para la bioadsorción del Cr (VI) y Cd (II) se realizara el mismo procedimiento:

1. Se mide un volumen 50 mL de dicromato de potasio, luego se tomó un volumen de 50 mL de nitrato de cadmio de una concentración inicial (100 mg/L) en matraces Erlenmeyer.
2. Se añade una cantidad determinada del adsorbente de gel tanico de corteza de queñua.
3. A la solución obtenida se le ajusta el pH de inicio mediante la adición de HCl 0,1 M y NaOH 0,125 M.
4. El contenido de los matraces se rotulan y se agitan con un agitador magnético con calefacción de 120 rpm a temperatura de 20°C y 40°C.
5. Después del proceso de bioadsorción, se filtran la soluciones sobrenadantes en papel filtro Whatman. Para el calculo de la capacidad de adsorción se emplea la ecuación (5) descrita por (Chu y Hashim, 2007). Las muestras se analizarón en Laboratorios Analiticos del Sur.

$$q_t = \frac{V * (C_i - C_f)}{m} \quad (5)$$

En el cual: “ q_t ” es la capacidad de adsorción (mg/g); “ C_i ” es la concentración inicial del adsorbato (mg/L); es la “ C_f ” es la concentración

final del adsorbato (mg/L); “ V ” es el volumen de la solución (L) y “ m ” es la cantidad de adsorbente utilizada (g). Para el cálculo del porcentaje de adsorción “% A ”, se empleó la ecuación (6) descrita por (Netzahuatl, 2010).

$$\%A = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100 \quad (6)$$

C. Capacidad de bioadsorción de los iones Cr (VI) y Cd (II)

C.1 Isoterma de adsorción

Se colocaron en 8 matraces Erlenmeyer un volumen de 50 mL a cada uno y se variaron las concentraciones de dicromato de potasio de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160 mg/L y en otros 8 matraces Erlenmeyer se colocaron en cada uno volumen de 50 mL de nitrado de cadmio tetrahidratado con concentraciones de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160 mg/L en ambos se trabajaron con agitación de 120 rpm durante 60 min. Al finalizar las pruebas los matraces se filtraron para su respectivo análisis. Los datos experimentales se representan con las isotermas de la tabla 6.

Tabla 6

Ajuste a una isoterma de equilibrio

Isoterma	Ecuación
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{1}{q_{max}} * C_e$
Freundlich	$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} * \log C_e$

Nota. Elaborado por Davis et al. (2003); Wang et al. (2010).

Dónde: “ q_e ” es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g); “ C_e ” es la concentración final del adsorbato en el equilibrio (mg/L); “ q_{max} ” es la capacidad máxima de adsorción (mg/g); “ b ” es la constante de Langmuir relacionada con la afinidad del adsorbente por el adsorbato;

“ K ” es la constante de Freundlich y es un indicador del equilibrio adsorción y “ n ” es la intensidad de adsorción según (Jin et al., 2019).

C.2 Modelos cinéticos

En la cinética de adsorción se colocarán en 8 matraces Erlenmeyer, volumen de 50 mL y con la misma concentración inicial de 100 mg/L de dicromato de potasio y se trabajara con diferentes tiempos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 60 minutos. En otros 8 matraces Erlenmeyer se colocaron un volumen de 50 mL y con una concentración de 100 mg/L de nitrato de cadmio y se trabajará con diferentes tiempos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 60 minutos; en todos los ensayos se realizará la agitación de 120 rpm. A continuación, se muestra los modelos cinéticos en la tabla 7.

Tabla 7

Modelos cinéticos para la bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II)

Modelo cinético	Ecuación
Pseudo primer orden	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} * t$
Pseudo segundo orden	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t$
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t)$

Nota. Elaborado por Revellame et al. (2020); Wang et al. (2010).

Dónde: “ q_t ” es la capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g); “ q_e ” es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g); “ t ” es el tiempo (min); “ k_1 ” es la constante cinética de pseudo primer orden (L/min); “ k_2 ” es la constante cinética de pseudo segundo orden (g/mg.min); “ h ” es la $k_2 * q_e^2$ siendo la velocidad inicial de adsorción (mg/g.min); “ α ” es la velocidad inicial de adsorción de Elovich (mg/g.min); “ β ” está relacionado con la energía de activación por quimiadsorción (g/mg) como lo describe (Meethale y Thirumalaisamy, 2015) .

3.5.3 Evaluar el pH y la temperatura en un diseño experimental (tercer objetivo)

Para cumplir con el tercer objetivo se realizó la evaluación del pH y la temperatura en un diseño central compuesto de Box Behncken, los datos obtenidos se colocaron en una matriz central compuesta, en la cual existe una distancia de los puntos estrella al origen, la cual se denota por α .

$$\alpha = 2^{\frac{k}{4}} \Rightarrow \alpha = 2^{\frac{2}{4}} = 1.414 \quad (7)$$

A. Determinación de las variables de mayor influencia

Las variables independientes son: pH (X_1) y la temperatura (X_2); la variable dependiente es Y_1 : Porcentaje de bioadsorción de Cr (VI) (%) y Y_2 : Porcentaje de bioadsorción de Cd (II) (%). En la tabla 8 se presentan los valores para los tres niveles de las variables independientes que se estandarizan en -1, 0, 1 y los puntos axiales $+\alpha$ y $-\alpha$ como se muestra (Montgomery, 2020).

Tabla 8

Variables para el diseño experimental

Variables independientes	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	1	α
X_1 : pH	1.59	2	3	4	4.41
X_2 : Temperatura (t)	15.86	20	30	40	44.14

Nota. Elaborado con datos de Montgomery (2020).

B. Determinación del número de experimentos

Lazić (2006), menciona que para determinar el número de experimentos (N) en el diseño central compuesto se considera el valor de $k=2$ que es el número de factores; $2k$ es el número de puntos de estrella y n_0 es el número de puntos centrales.

$$N = 2^k + 2k + n_0 \Rightarrow N = 2^2 + 2(2) + 2 = 10 \quad (8)$$

C. Postulado del modelo matemático de segundo orden

El porcentaje de bioadsorción de Cr (VI) y el porcentaje de bioadsorción de Cd (II) se representó mediante la siguiente ecuación (9) de segundo orden (Lazić, 2006).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_1 X_2 \quad (9)$$

Donde; la variable respuesta es Y; las variables codificadas son X_1 y X_2 y los coeficientes del modelo matemático son $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$. (Lazić, 2006).

D. Aplicación de la prueba estadística inferencial

Se desarrollarán con el software estadístico STATGRAFICS Centurión XVIII, el cual proporciona: Análisis de varianza (ANOVA), ecuación del modelo de segundo orden, gráfica de contorno, gráfica de superficie respuesta y variables óptimas.

E. Tabla de recolección de datos por objetivos específicos

Tabla 9

Métodos para el análisis físico - químico del gel tánico

Parámetro	Humedad	pH	Densidad aparente	Grupos funcionales
Método	Estándar para humedad	Potenciométrico	Gravimétrico	Espectroscopia de Infrarrojo

3.5.4 Determinación de la capacidad de bioadsorción.

Los datos obtenidos de la concentración final (C_f) de Cr (VI) y la concentración final (C_f) de Cd (II) se colocaron en la tabla 10 y su respectiva capacidad de bioadsorción (q) se calculó con la ecuación (5) para su comparación e interpretación.

Tabla 10

Capacidad de bioadsorción del Cr (VI) y Cd (II) en las isotermas y cinética

n	C ₀ (mg/L)	Isoterma				t (min)	Cinética			
		Cr (IV)		Cd (II)			Cr (IV)		Cd (II)	
		Ce (mg/L)	q (mg/g)	Ce (mg/L)	q (mg/g)		Ce (mg/L)	q (mg/g)	Ce (mg/L)	q (mg/g)
1	20					5				
2	40					10				
3	60					15				
4	80					20				
5	100					25				
6	120					30				
7	140					40				
8	160					60				

Nota. Elaborado con datos experimentales de LAS.

3.5.5 Diseño Experimental

Las concentraciones finales del Cr (VI) y del Cd (II) de la tabla 10 se remplazaron en la ecuación (6) y se determinó los porcentajes de bioadsorción (%A) del Cr (VI) y del Cd (II) y se colocó en la tabla 11.

Tabla 11

Porcentajes de bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II)

Nº	pH	T (°C)	%A ₁ Cr (IV)	%A ₂ Cd (II)
1	2	20		
2	4	20		
3	2	40		
4	4	40		
5	1.59	30		
6	4.41	30		
7	3	15.86		
8	3	44.14		
9	3	30		
10	3	30		

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados y discusión del primer objetivo: Obtener un bioadsorbente por extracción y caracterización de gel tánico de corteza de queñua.

Proceso de obtención de extracto tánico utilizando alcohol de 95° a una temperatura de 70°C.

Tabla 12

Obtención de Extracto Tánico de queñua (Polylepis spp) seco

Muestra de queñua (g)	Malla	Etanol 95%	Extracto Tánico seco (g)	Porcentaje extraído (%)
25	60	200	4.3119	17.2476
25	80	200	4.9159	19.6636c
25	60	200	3.0383	12.1532
25	80	200	4.5369	18.1476
25	80	200	3.9002	15.6008
25	80	200	3.5701	14.2804
25	80	200	3.8023	15.2092
25	80	200	3.5701	14.2804
25	80	200	3.8023	15.2092
25	80	200	4.6204	18.4836

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorios LAS.

Los valores medios obtenidos en la extracción de tanino de queñua, para cada uno de los experimentos están representados en la Tabla 12, el porcentaje extraído se incrementa con el tamaño de partícula correspondiente a la malla 80 (180 μ m). El porcentaje extracto tánico más alto obtenido con alcohol de 96° a reflujo total con malla 80 (180 μ m) fue de 19.6636 %, lo que significa que a menor tamaño de partícula mayor porcentaje de extracción (Cuetocue et al., 2020).

Tabla 13

*Obtención de gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) en agitador magnético con calefacción a 80°C*

Muestra de extracto tánico (g)	Na(OH) al 0.125 M más H ₂ O (mL)	Formaldehído al 37% (mL)	Gel Tánico (g)
5	62	10	5,7453
5	62	10	6.4292
5	62	10	5.7453
5	60	10	6.1455
5	60	10	6.2328
5	60	10	5.7713
5	60	10	5.7588
5	60	10	5.8874

Nota. Elaborado en base a datos experimentales de laboratorio LAS.

Existe una mínima variación de gel tánico obtenido, debido a una cantidad uniforme de hidróxido de sodio 0.125 M y formaldehído 37%. El gel tánico obtenido de la *Polylepis* se incrementó ligeramente debido que ocurre un polimerización por la reacción entre el extracto tánico con el hidróxido de sodio y el formaldehído como lo describe (Kim et al., 2007) y posterior lavado con ácido nítrico y agua donde se produce una disminución del gel tánico como consecuencia de la eliminación de impurezas (Aguilar et al., 2012; Cuetocue et al., 2020).

Tabla 14

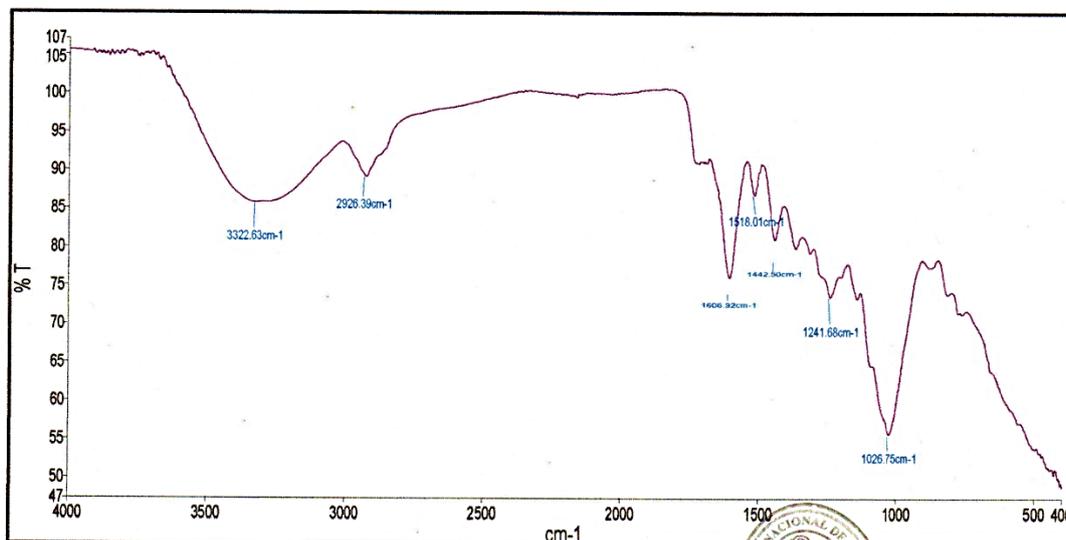
Lavado del gel tánico obtenido a partir de queñua (Polylepis spp)

Muestra de gel tánico (g)	HNO ₃ al 0.01 M (mL)	Lavado con agua destilada 5 veces (mL)	Gel tánico (g)
5.7453	40	50	4.9271
6.4292	40	50	5.0451
5.7453	40	50	4.3908
6.1455	40	50	5.3908
6.2328	40	50	5.4624
5.7713	40	50	4.9562
5.7588	40	50	4.9473
5.8874	40	50	5.2145

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorio LAS.

Figura 8

Espectro infrarrojo (FT-IR) de la corteza de la queñua (Polylepis spp) malla 80



Nota. Elaborado con datos del Espectrofotómetro Infrarrojo Perkin Elmer Frontier de laboratorio LABICER – FC – UNI – LIMA.

Tabla 15

Espectro infrarrojo (FT-IR) de la corteza de queñua (Polylepis spp)

Longitud de onda (cm-1)	Grupo funcional	Rango de longitud de onda (cm-1)
3322.63	Vibraciones de estiramiento de H-O-H y estiramiento de N-H	3300 - 3600
2926.39	Vibraciones C-H de estiramiento metilo y grupos metoxi	2923.78
1606.92	Estiramiento de enlace C=C	1600 - 1650
1241.68	Torsión de enlace C=O en cetonas	1100 - 1300
1026.75	C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos	1333.24 - 1022

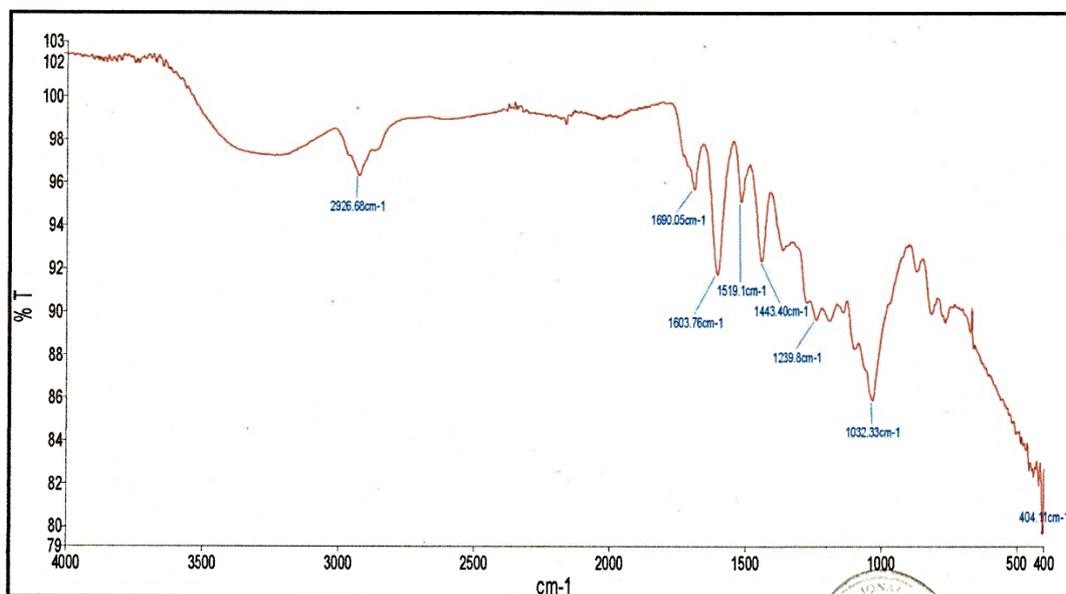
Nota. Elaborado con datos de laboratorio LABICER – FC – UNI – LIMA.

El espectro IR FT para la corteza de la queñua (*Polylepis sp*) presento una banda moderada de 3300 a 3600 cm^{-1} correspondiente a las vibraciones H-O-H y estiramiento N-H característico de los compuestos fenólicos (taninos), igualmente bandas de estiramiento C-H a 2926.39 cm^{-1} correspondiente grupos metilo y metoxi. La corteza de la queñua también mostro una banda de torsión de enlace C=O a 1241,68 cm^{-1} . Los resultados indican que se pueden utilizar como bioadsorbente.

En la figura 9 se muestra espectro infrarrojo (FT-IR) del Extracto Tánico de la corteza de la queñua (*Polylepis spp*). Análisis realizado en el Espectrofotómetro Infrarrojo Perkin Elmer Frontier de laboratorio LABICER – FC – UNI – LIMA.

Figura 9

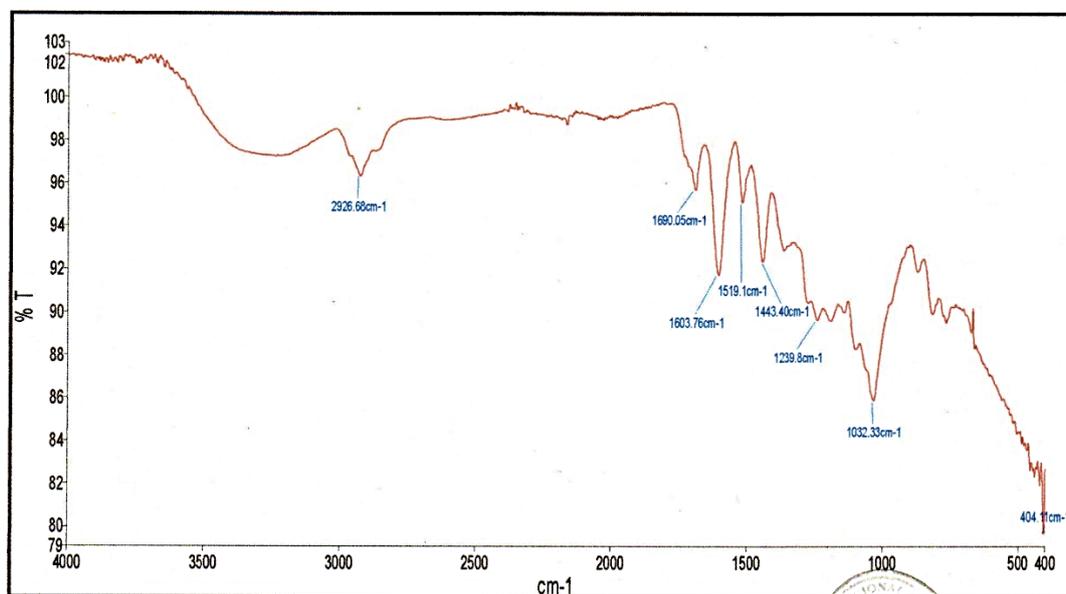
Espectro infrarrojo (FT-IR) del Extracto Tánico de la corteza de la queñua (Polylepis spp)



Nota. Elaborado con datos de laboratorio LABICER – FC – UNI – LIMA.

Figura 10

Espectro infrarrojo (FT-IR) del Extracto Tánico de la corteza de la queñua (Polylepis spp)



Nota. Elaborado con datos de laboratorio LABICER – FC – UNI – LIMA.

Tabla 16

Datos de los espectros infrarrojos (FT-IR) del extracto tánico de la corteza de la queñua molida (Polylepis spp) malla 80 y sus posibles grupos funcionales

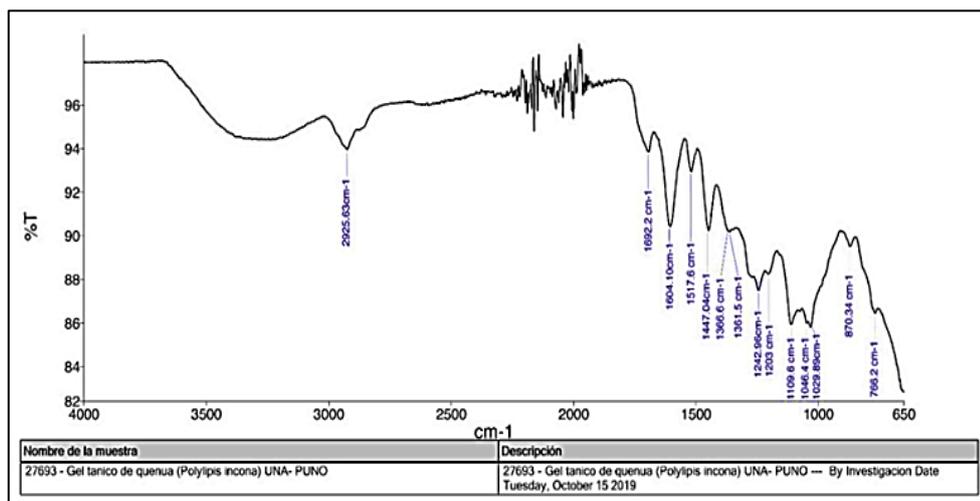
Longitud de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional	Rango de longitud de onda (cm ⁻¹)
2926.68	Vibraciones C-H de estiramiento metilo y grupos metoxi.	2923.78
1606.76	Estiramiento de enlace C=C	1600 - 1650
1239.8	Torsión de enlace C=O en cetonas.	1100 - 1300
1023.53	C-O en alcoholes y ácidos carboxílicos.	1333.24 - 1022

Nota. Elaborado con datos de laboratorio LABICER – FC – UNI – LIMA.

Las bandas anchas de longitud de onda de 2926.68 cm⁻¹ representan vibraciones C-H de estiramiento metilo y grupos metoxi, debido al tratamiento con hidróxido de sodio y formaldehído. El espectro IR FT del extracto tánico mostro una banda moderada de 3600 a 3000 cm⁻¹ con vibraciones de estiramiento O-H correspondiente a un alcohol característico de los taninos o compuestos fenólicos, una banda 2926.38 con vibraciones C-H de estiramiento simétrico, También se presentó una banda estiramiento a 1692.3 cm⁻¹ característica de estiramiento de enlace C=O en cetonas, también mostro una banda de flexión a 1607.59 cm⁻¹ de enlace C=C en alquenos y cetonas (Cuetocue et al., 2020). En la figura 10 se muestra el espectro del gel tánico de la queñua.

Figura 11

Espectro Infrarrojo (FT-IR) del gel tánico de queñua seco (Polylepis spp)



Nota. Elaborado con datos de laboratorio LABINVSERV de la UNAS.

Tabla 17

Datos de los espectros infrarrojos (FT-IR) del gel tánico de la corteza de la queñua molida (Polylepis spp) malla 80 y sus posibles grupos funcionales

27693 – Gel Tánico de queñua	
Longitud de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
3600-3000	O-H Alcohol - estiramiento
2925.63	CH ₂ – estiramiento simétrico
1692.2	C=O - Carbonilo - estiramiento
1604.1	C=C – Alqueno - estiramiento
1517.6	-C=C- anillo aromático
1447.04	CH ₃ – flexion asimétrica
1366.6	CH ₃ Flexión simétrica
1361.5	CH ₃ Flexión simétrica
1242.96	C-O-C estiramiento asimétrico
1203	O-H Flexión
1109.6	C-C-O estiramiento
1046.4	C-O-C estiramiento asimétrico
1029.89	C-O estiramiento
870.33	-C-H Flexión fuera del plano
766.2	-C-H Flexión fuera del plano

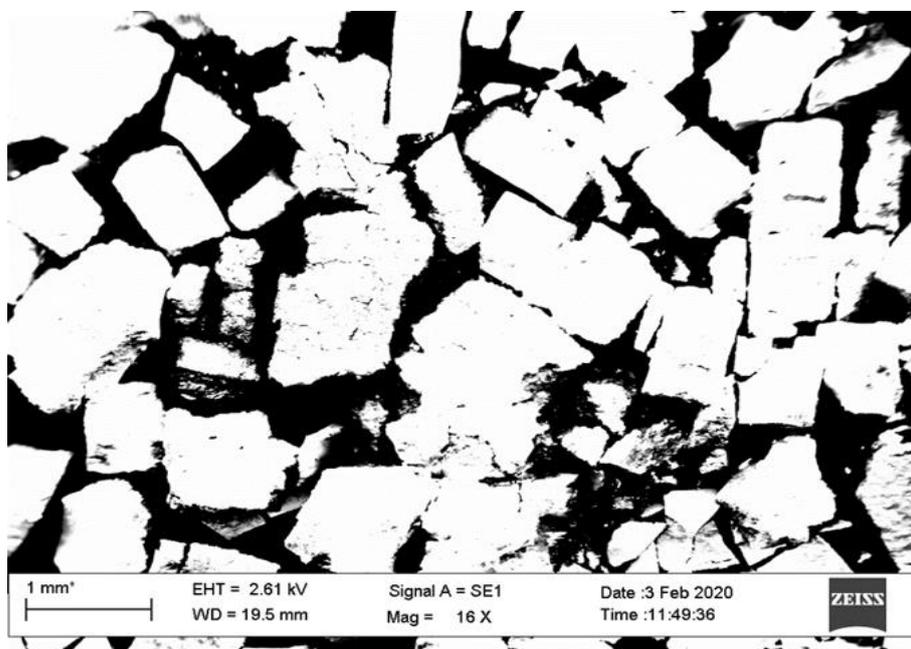
Nota. Elaborado con datos de laboratorio LABINVSERV de la UNAS.

El gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) presentó una banda moderada de 3600 a 3000 cm^{-1} que corresponde a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H característico de los compuestos fenólicos o taninos, la banda de estiramiento simétrico a 1925.63 cm^{-1} presento un enlace C-H (CH_2 -), de igual manera una banda de estiramiento a 1692.22 cm^{-1} mostró un enlace C=O característico de un grupo funcional carbonilo según (Rodrigues et al., 2015). El espectro IR FT también mostró la banda de estiramiento C=C característica de los alquenos y de los anillos aromáticos a 1604.1 cm^{-1} , el gel tánico mostró también una banda de absorción a 1203 cm^{-1} que se le asigna una flexión al grupo funcional O-H, la presencia de grupos funcionales demuestra una alta capacidad de bioadsorción del gel tánico (Cuetocue et al., 2020).

En la figura 11 se muestra la morfología del gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) tomado del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) del MEGALABORATORIO de la UNA – PUNO.

Figura 12

*Análisis por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) del gel tánico queñua (*Polylepis spp*)*



Nota. Elaborado con datos de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) del MEGALABORATORIO de la UNA – PUNO.

Las micrografías electrónicas de barrido de gel tánico inmovilizado de de queñua (SEM), sin interezar el método utilizado para preparar el gel tánico, se presentan bloques con amaño de 16.5 mm. La microscopía electrónica de barrido para el gel tánico, realizó una aproximación gráfica a la naturaleza del gel rígido con las imágenes del SEM, presentaron una apariencia rígida no porosa en forma de bloques, debido a que la polimerización y al carácter polifenólico del gel tánico (Sánchez, et al., 2011).

4.1.2 Resultados y discusión del segundo objetivo: Determinar la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (*Polylepis spp*) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas.

Resultados experimentales de bioadsorción de del gel tánico para Cr (VI) y Cd (II). Los resultados experimentados se llevaron a cabo en los Laboratorios del Sur (LAS) en la ciudad de Arequipa y se muestran en las siguientes tablas.

A. Isotherma de adsorción para el Cromo (VI) para pH =2 y T=20°C

En la tabla 18 se muestras los experimentos de bioadsorción para la determinación de las isotermas de equilibrio de Langmuir y Freundlich.

Tabla 18

De datos experimentales para la isotermas de Cr (VI) T=40°C y pH=2

n	Co (mg/L)	W (g)	V (mL)	t (min)	Ce (mg/L)	Cret (mg/L)	q(mg/g)	A%
1	20	1	50	30	0.19	19.81	0.99	99.05
2	40	1	50	30	0.38	39.62	1.98	99.05
3	60	1	50	30	0.57	59.43	2.97	99.05
4	80	1	50	30	0.88	79.12	3.96	98.90
5	100	1	50	30	1.15	98.85	4.94	98.85
6	120	1	50	30	14.03	105.97	5.30	88.31
7	140	1	50	30	34.05	105.95	5.30	75.68
8	160	1	50	30	53.01	106.99	5.35	66.87

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorios LAS.

Tabla 19

Continuación de la tabla 18

n	Ce (mg/L)	q (mg/g)	Log Ce	Log q	Ce (mg/L)	Ce/qe (g/L)
1	0.19	0.99	-0.72	0.00	0.19	0.192
2	0.38	1.98	-0.42	0.30	0.38	0.192
3	0.57	2.97	-0.24	0.47	0.57	0.192
4	0.88	3.96	-0.06	0.60	0.88	0.222
5	1.15	4.94	0.06	0.69	1.15	0.233
6	14.03	5.30	1.15	0.72	14.03	2.648
7	34.05	5.30	1.53	0.72	34.05	6.428
8	53.01	5.35	1.72	0.73	53.01	9.909

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorios LAS.

Isoterma de adsorción para el Cromo (VI)

Los experimentos de bioadsorción se muestran en la tabla 20.

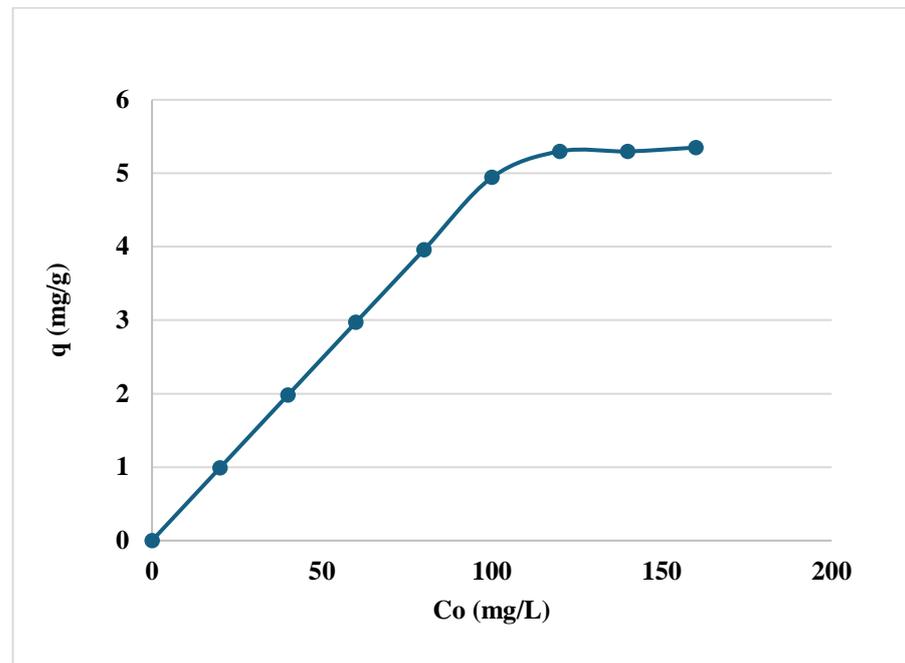
Tabla 20

Resultados de la isoterma de adsorción de Cr (VI)

n	Co(mg/L)	Ce (mg/L)	q(mg/g)	A%
1	20	0.19	0.99	99.05
2	40	0.38	1.98	99.05
3	60	0.57	2.97	99.05
4	80	0.88	3.96	98.90
5	100	1.15	4.94	98.85
6	120	14.03	5.30	88.31
7	140	34.05	5.30	75.68
8	160	53.01	5.35	66.87

Nota. Elaborado con datos experimentales de LAS.

En la figura 12 se muestra la capacidad de adsorción de Cr (VI) versus la concentración inicial.

Figura 12*Isotermas de adsorción de Cr (VI).*

Nota. Elaborado con datos de Tabla 20.

En la figura 12 se observa que la capacidad de adsorción de Cr (VI) se logra a una concentración en el equilibrio $C_0 = 130.0$ mg/L probablemente debido a que el gel tánico puede disponer de mayor cantidad de sitios activos para atrapar a los iones Cr (VI). Con la concentración en el equilibrio, la capacidad de adsorción aumenta pero en menor grado debido a que la superficie del adsorbente quedó saturada de los iones Cr (VI) por lo que a partir de la concentración en el equilibrio $C_0 = 130$ mg/L la capacidad de adsorción es de $q = 5.35$ mg/g se mantiene constante, lo que significa que se alcanzó el equilibrio entre los iones Cr (VI) retenidos en la superficie del adsorbente y los iones Cr(VI) disueltos en la solución acuosa.

B. Ajuste a una isoterma de equilibrio Cr (VI)

B.1 Isoterma de Langmuir del Cromo (VI)

La isoterma de Langmuir manifiesta que la atracción entre el metal y la superficie del adsorbente es debida a las fuerzas electrostáticas de Van der Waals, la adsorción tiene lugar en los centros activos de la superficie del adsorbente y no se tienen en cuenta agrupaciones moleculares ni

variaciones de energía de la interacción con el material (Batool et al., 2023; Sadegh et al., 2023).

La forma lineal de la ecuación de Langmuir es (Wang et al., 2010):

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

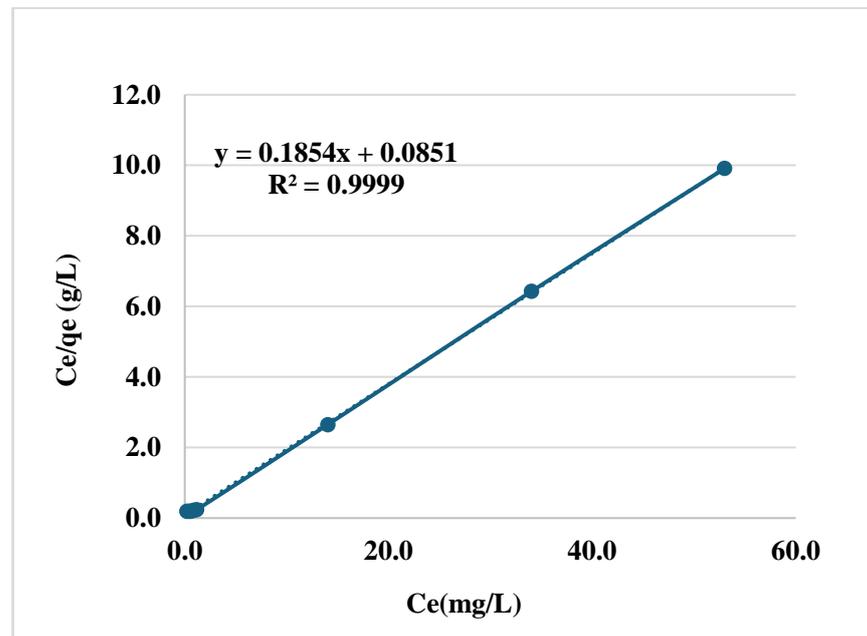
Tabla 21

Resultados de la isoterma de Langmuir para Cr (VI)

n	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	C _e /q _e (g/L)
1	0.19	0.99	0.192
2	0.38	1.98	0.192
3	0.57	2.97	0.192
4	0.88	3.96	0.222
5	1.15	4.94	0.233
6	14.03	5.30	2.648
7	34.05	5.30	6.428
8	53.01	5.35	9.909

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorios LAS.

La figura 13 muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de Langmuir, para lo cual se empleó la expresión lineal de la ecuación (10).

Figura 14*Ajuste de datos a la isoterma de Langmuir del Cr (VI)*

Nota. Elaborado con datos de la Tabla 21.

La capacidad máxima de adsorción (q_{\max}) y la constante de Langmuir (b) se determinaron del intercepto y pendiente de la gráfica de C_e/q_e versus C_e de la ecuación (10). El valor de $q_{\max} = 5.39$ mg/g representa la capacidad máxima de adsorción de Cr (VI) que presenta la superficie activada del material bioadsorbente y el valor de $b = 2.18$ L/mg refleja el grado de afinidad del adsorbente por el adsorbato y el coeficiente de correlación $R^2 = 0,9999$. El comportamiento descrito coincide con (Chabaane et al., 2011) que utilizó tanino inmovilizado de mimosa extraído de la corteza de árboles de acacia negra (*Acacia mearnsii*) obteniendo una capacidad de absorción de 38.0 mg/g esto debido a que utiliza una concentración de 50 mg/L y tiene un $R^2 = 0.989$.

B.2 Isoterma de Freundlich

La isoterma de Freundlich supone que la superficie del adsorbente es heterogénea y que las posiciones de adsorción tienen distintas afinidades, en pimer lugar, se ocupan las posiciones de mayor afinidad y posteriormente se van ocupando el resto (Sadegh et al., 2023). La ecuación de Freundlich en su expresión lineal es (Batool et al., 2023; (Petins et al., 2021) .

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} * \log C_e \quad (11)$$

En la tabla 22 se determinan los valores de log Ce y de log qe

Tabla 22

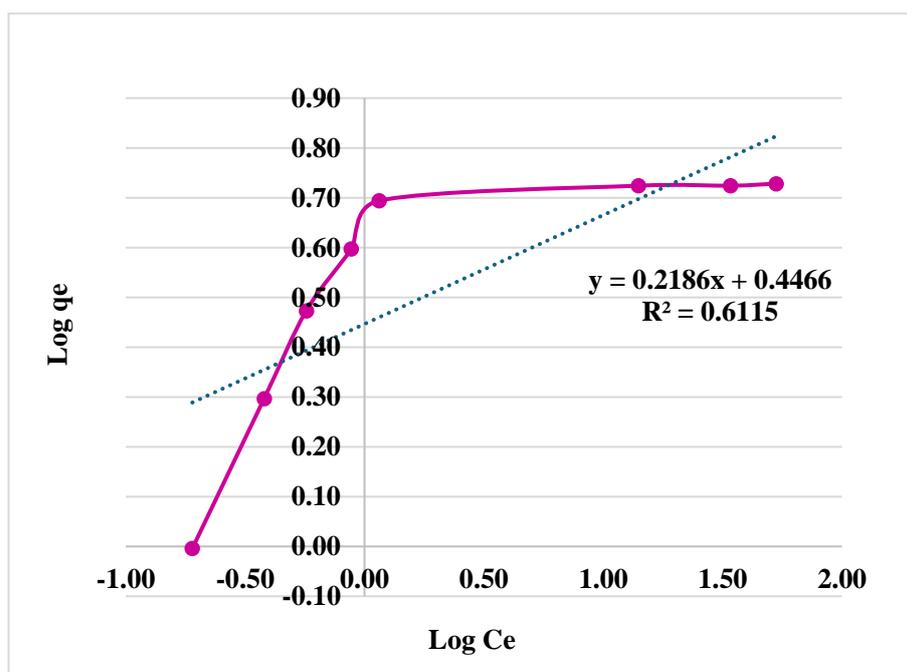
Resultados de la isoterma de Freundlich para Cr (VI)

n	Ce (mg/L)	q (mg/g)	LogCe	Logqe
1	0.19	0.99	-0.72	0.00
2	0.38	1.98	-0.42	0.30
3	0.57	2.97	-0.24	0.47
4	0.88	3.96	-0.06	0.60
5	1.15	4.94	0.06	0.69
6	14.03	5.30	1.15	0.72
7	34.05	5.30	1.53	0.72
8	53.01	5.35	1.72	0.73

Nota. Elaborado con datos experimentales de LAS.

Figura 15

Ajuste de datos a la isoterma de Freundlich del Cr (VI)



Nota. Elaborado con datos de la Tabla 22.

La figura 14 se contempla el ajuste de datos a la isoterma de Freundlich, la constante de Freundlich K_F y el valor de n se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de $\log q_e$ versus $\log C_e$ de la ecuación (11). El valor de $K_F = 2.80$ se relaciona con la capacidad de adsorción y el valor de $n = 4.57$ representa la intensidad de adsorción. El coeficiente de correlación $R^2 = 0.6115$. Análisis concordante con la información de (Xu et al., 2017); que obtiene un valor de $n = 5,655$ y $K_F = 46.477$ mg/g obtenido con tanino inmovilizado de corteza de acacia negra (*Acacia mearnsii*).

Cálculo de las constantes de la Isoterma de Langmuir.

$$y = 0.1854x + 0.00851 \quad (12)$$

$$R^2 = 0.9999 \quad (13)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x} * b} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}} \quad (14)$$

$$\frac{1}{q_{m\acute{a}x}} = 0.1854 \quad (15)$$

$$q_{m\acute{a}x} = 5.39 \text{ mg/g} \quad (16)$$

$$\frac{1}{q_{m\acute{a}x} * b} = 0,0851 \quad (17)$$

$$b = \frac{1}{5.39 * 0.0851} = 2.18 \text{ L/mg} \quad (18)$$

Cálculo de las constantes de la Isoterma de Freundlich.

$$y = 0.2186x + 0.4466 \quad (19)$$

$$R^2 = 0.6115 \quad (20)$$

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} * \log C_e \quad (21)$$

$$\frac{1}{n} = 0.2186 \rightarrow n = \frac{1}{0.2186} \quad (22)$$

$$n = 4.57 \quad (23)$$

$$\log k = 0.4466 \quad (24)$$

$$k = 10^{0.446} \quad (25)$$

$$k_F = 2.796 = 2.80 \quad (26)$$

En la tabla 23 se resume las constantes y coeficientes de correlación de las isotermas de Langmuir y Freundlich.

Tabla 23

Constantes de las isotermas de Langmuir y Freundlich del Cr (VI).

Isoterma	Ecuación Linealizada	Constantes Isotérmicos	R ²
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{C_e}{q_{max}}$	q _{max} = 5.39 mg/g b = 2.18 L/mg	0.9999
Freundlich	$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} * \log C_e$	KF = 2.80 n = 4.57	0.6115

Nota. Elaborado con los cálculos realizados para las isotermas.

Comparando los resultados de los coeficientes de correlación de la tabla 23 se observa que la isoterma que mejor se ajustó a los datos experimentales es el modelo de Langmuir (R² = 0,999). Este hecho constata la hipótesis hecha al inicio del trabajo, donde se supuso que la bioadsorción del ion Cr (VI) en solución acuosa utilizando gel tánico se representaría con la isoterma de Langmuir,

Este modelo indica que la superficie del adsorbente es uniforme, es decir todos los sitios de adsorción son equivalentes, la adsorción se produce a través del mismo mecanismo y la máxima adsorción se forma en monocapa. Los iones metálicos del Cr (VI) se encuentran localizados y

no se mueven sobre la superficie del adsorbente (Petins et al., 2021; Sadegh et al., 2023).

En la tabla 24 se presenta la comparación de la capacidad máxima de adsorción de Cr (VI) determinada por la isoterma de Langmuir reportado por otros investigadores en la literatura:

Tabla 24

Comparación de la máxima capacidad bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II) con varios taninos inmovilizados en la literatura para la isoterma de Langmuir

Adsorbente	b	Q _{máx}	Autor
	(L/mg)	(mg/g)	
Tanino inmovilizado Cu (II)	0.115	81.47	Anirudhan y Suchithra, (2008)
Tanino inmovilizado Zn (II)	0.099	78.91	Anirudhan y Suchithra, (2008)
Tanino inmovilizado HTC Cd (II)	0.082	70.97	Anirudhan y Suchithra, (2008)
Tanino inmovilizado con arcilla Cr (VI) a 37°C	0.033	18.34	Li et al. (2012)
Tanino inmovilizado de acacia negra Cr (VI)	0.464	94,875	Xu et al. (2017)
Tanino inmovilizado de caqui Cr (VI)	19.96	2.688	Zhang et al. (2020)
Tanino inmovilizado de mimosa Cr (VI)	0.033	42	Chabaane et al. (2011)
Tanino inmovilizado de mimosa Cr (VI)	0.027	38	Chabaane et al. (2011)

Nota. Elaborado con datos bibliográficos para taninos inmovilizados.

Tabla 25

Comparación de las constantes de la isoterma Freundlich en la literatura para Cr (VI) y Cd (II).

Adsorbente	K_F	n	Autor
Resina de tanino: Pb(II)	4.6612	0.48	Shilowa et al. (2021)
Resina de tanino: Ni(II)	0.4476	12.80	Shilowa et al. (2021)
Tanino inmovilizado Cd(II)	20.70	8.40	Anirudhan y Suchithra, (2008)
Tanino inmovilizado con arcilla Cr(VI) a 37°C	2,67	0.374	Li et al. (2012)
Tanino inmovilizado de acacia negra Cr(VI)	46.477	5,655	Xu et al. (2017)
Tanino inmovilizado de caqui Cr(VI)	-	-	Cui et al. (2013)
Tanino inmovilizado Cr(VI)	-	-	Chabaane et al. (2011)
Tanino inmovilizado Cr(VI)	-	-	Chabaane et al. (2011)

Nota. Elaborado con datos bibliográficos para taninos inmovilizados.

B.3 Cinética de Bioadsorción de Cr (VI)

Para la evaluación de la cinética de bioadsorción de Cr (VI) con gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) se realizaron 08 experimentos con diferentes tiempos, se colocó a cada uno volumen 50 mL de concentración inicial (C_0) 100 mg/L, se trabajó con los valores de 1 g de bioadsorbente; con pH=2 y T=20°C. Para calcular los modelos cinéticos se empleó valores de la tabla 26 y en tabla 27 se presentan los datos normalizados.

Tabla 26

Resultados para la cinética de bioadsorción de Cr (VI)

*N	t (min)	Co(mg/L)	m (g)	v (mL)	Ce (mg/L)	Cret (mg/L)	q(mg/g)	A%
1	5	100	1	50	0.15	99.85	4.99	99.85
2	10	100	1	50	23.54	76.46	3.82	76.46
3	15	100	1	50	1.06	98.94	4.95	98.94
4	20	100	1	50	0.07	99.93	5.00	99.93
5	25	100	1	50	1.025	98.975	4.95	98.98
6	30	100	1	50	1.135	98.865	4.94	98.87
7	40	100	1	50	13.045	86.955	4.35	86.96
8	60	100	1	50	1.22	98.78	4.94	98.78

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorios LAS.

Tabla 27

Resultados de datos de cinética normalizados

n	t (min)	Co(mg/L)	M (g)	V (mL)	Ce (mg/L)	Cret (mg/L)	q(mg/g)	A%
1	5	100	1	50	23.54	76.46	3.82	76.46
2	10	100	1	50	13.045	86.96	4.35	86.96
3	15	100	1	50	1.95	98.05	4.90	98.05
4	20	100	1	50	1.715	98.29	4.91	98.29
5	25	100	1	50	1.43	98.57	4.93	98.57
6	30	100	1	50	1.025	98.98	4.95	98.98
7	40	100	1	50	0.15	99.85	4.99	99.85
8	60	100	1	50	0.07	99.93	5.00	99.93

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorios LAS.

Tabla 28

Resultados para la cinética del Cr (VI)

n	t (min)	qe-qt	ln(qe-qt)	t (min)	q (mg/g)	t/q	t (min)	ln(t)	qt (mg/g)
1	5	1.17	0.16	5	3.82	1.31	5	1.61	3.82
2	10	0.65	-0.43	10	4.35	2.3	10	2.3	4.35
3	15	0.09	-2.36	15	4.9	3.06	15	2.71	4.9
4	20	0.08	-2.5	20	4.91	4.07	20	3	4.91
5	25	0.07	-2.69	25	4.93	5.07	25	3.22	4.93
6	30	0.05	-3.04	30	4.95	6.06	30	3.4	4.95
7	40	---	---	40	4.99	8.01	40	3.69	4.99
8	60	---	---	60	5	12.01	60	4.09	5

Nota. Elaborado con datos de las ecuaciones de cinética de Cr(VI).

B.4 Modelos cinéticos de bioadsorción del Cromo (VI)

Para la evaluación de la cinética de bioadsorción de Cr (VI) con gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) se realizaron 8 experimentos con diferentes tiempos, se colocó a cada uno volumen 50 mL de concentración inicial (C_0) 100 mg/L, se trabajó con los valores óptimos del diseño experimental de cantidad de adsorbente de 1 g; pH 2 y temperatura de 40 °C. Para calcular los valores de la capacidad de adsorción se empleó la ecuación (5) del capítulo III, sus resultados se presentan en la tabla 29.

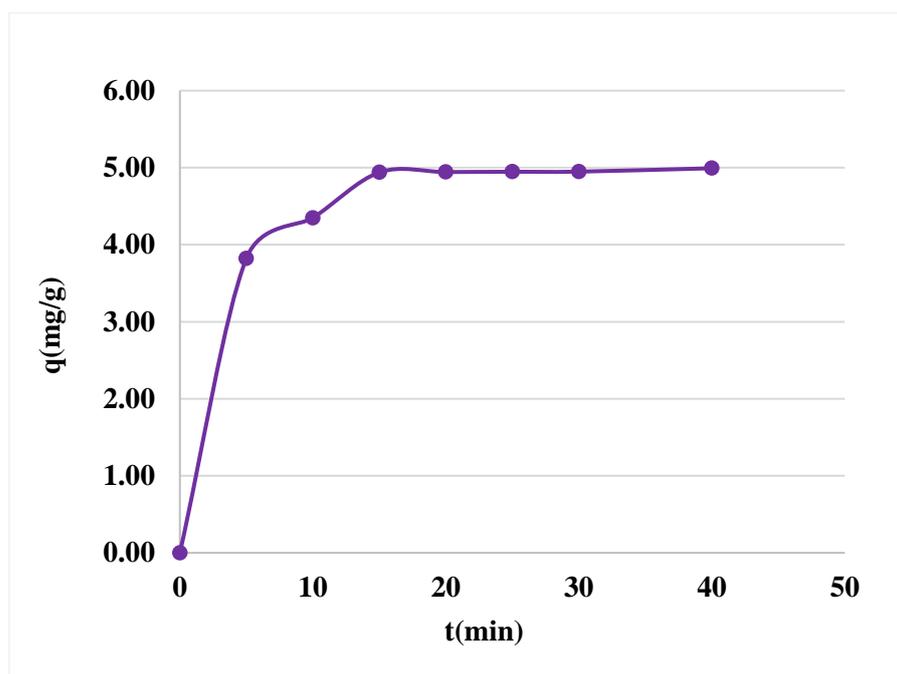
Tabla 29

Resultados de la cinética de adsorción Cromo (VI)

n	t (min)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)
1	5	100	23.54	3.82
2	10	100	13.045	4.35
3	15	100	1.95	4.90
4	20	100	1.715	4.91
5	25	100	1.43	4.93
6	30	100	1.025	4.95
7	40	100	0.15	4.99
8	60	100	0.07	5.00

Nota. Elaborado con datos de la Tabla 28.

La figura 15 muestra la evolución de la cinética de adsorción de Cr (VI)

Figura 16*Ajuste a un modelo de cinética para el Cr (VI)*

Nota. Elaborado con datos de la Tabla 29.

En la figura 15 se observa que la bioadsorción de Cr (VI), alcanza el equilibrio a los 20 minutos por lo que un incremento en el tiempo de adsorción no permite un incremento en la capacidad de adsorción para el Cr (VI), indicando que alcanzo su equilibrio en un tiempo breve de 20 minutos. Este comportamiento cinético coincide con la investigación realizada por (Madala et al., 2017).

i. Modelo de pseudo primer orden para el Cr (VI)

El modelo de pseudo primer orden refiere que el ion metálico se adsorbe en un sitio activo sobre la superficie del adsorbente y puede ser determinado a partir de la siguiente ecuación (Batoool et al., 2023).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 * t \quad (27)$$

Tabla 30

Resultados del modelo de pseudo primer orden para el Cr (VI)

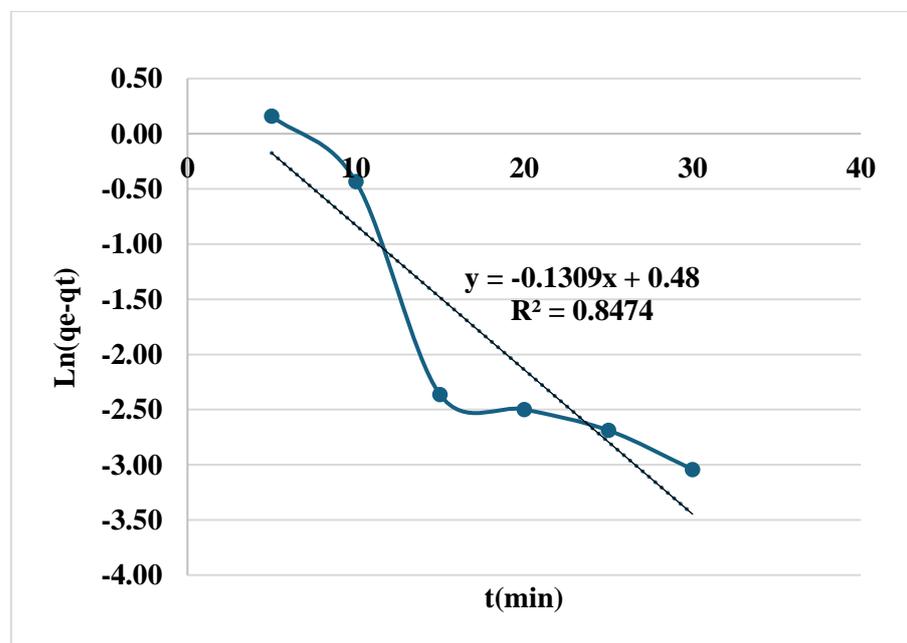
n	t (min)	qt(mg/g)	ln(qe-qt)
1	5	3.82	0.16
2	10	4.35	-0.43
3	15	4.90	-2.36
4	20	4.91	-2.50
5	25	4.93	-2.69
6	30	4.95	-3.04
7	40	4.99	----
8	60	5.00	----

Nota. Elaborado con datos de los cálculos de la Ecuación 27.

En la figura 16 se muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de pseudo primer orden en su expresión lineal Cr (VI).

Figura 17

Ajuste del modelo de pseudo primer orden para el Cr (VI)



Nota. Elaborado con datos de la Tabla 30.

La capacidad de adsorción de Cr (VI) en el equilibrio (q_e) y la constante cinética de pseudo primer orden (k_2) se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de $\ln(q_e - q_t)$ versus t como se

muestra en la ecuación 8. Para la ecuación de pseudo primer orden, la capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) indica que se adsorbieron 1.62 mg/g de iones Cr (VI) por gramo de adsorbente de gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) en el equilibrio y la constante cinética de pseudo primer orden $k_1 = 0.13 \text{ min}^{-1}$ señala la velocidad en la que son adsorbidos los iones Cr (VI) por gel tánico de corteza de queñua. El coeficiente de correlación $R^2 = 0.8474$ indica el ajuste de los datos cinéticos Li et al. (2012); Xu et al. (2017), reportaron datos cinéticos con taninos inmovilizados de acacia negra para capacidad de adsorción en equilibrio de 7.4 mg/g y la constante cinética de pseudo primer orden $k_1 = 0.0368 \text{ min}^{-1}$, debido a que la concentración del gel de tánico es menor (60 mg/L).

ii. Modelo de pseudo segundo orden para el Cr (VI)

El modelo cinético de pseudo segundo orden está basado en la capacidad de adsorción de la fase sólida, donde el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa. La ecuación de pseudo segundo orden en su expresión lineal esta designada (Batoool et al., 2023; Ho & McKay, 2003).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t \quad (28)$$

Tabla 31

Resultados del modelo pseudo segundo orden para el Cr (VI)

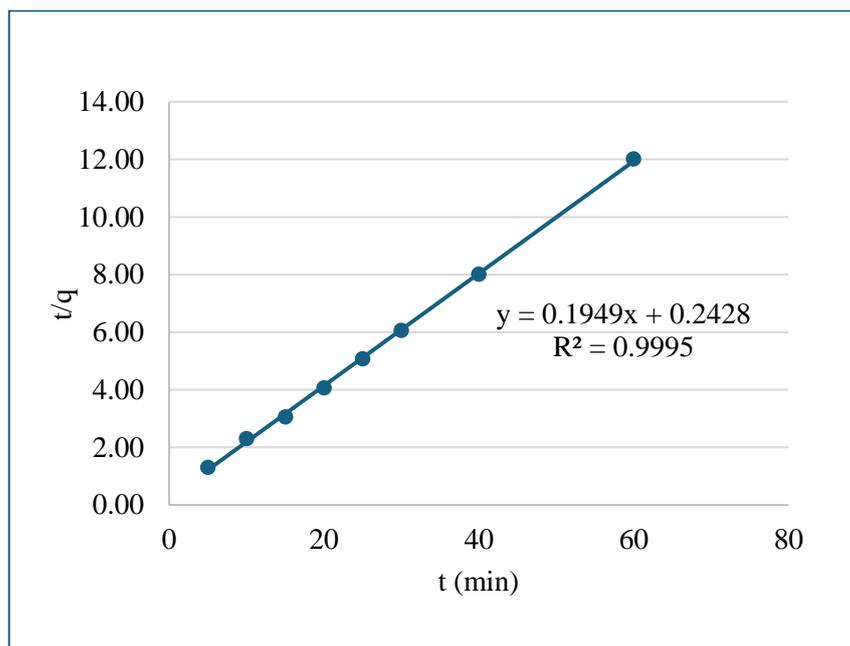
n	t (min)	qt (mg/g)	t/q
1	5	3.82	1.31
2	10	4.35	2.30
3	15	4.90	3.06
4	20	4.91	4.07
5	25	4.93	5.07
6	30	4.95	6.06
7	40	4.99	8.01
8	60	5.00	12.01

Nota. Elaborado con datos de los cálculos de la Ecuación 28.

La figura 17 muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de pseudo segundo orden en su ecuación lineal.

Figura 18

Ajuste de datos al modelo de pseudo segundo orden para el Cr (VI)



Nota. Elaborado con datos de la Tabla 31.

La capacidad de adsorción de Cr (VI) en el equilibrio (q_e) y la constante cinética de pseudo segundo orden (k_2) se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de t/q_t versus t de la ecuación según (Madala et al., 2017). Siendo el valor de $q_e = 5.13$ mg/g que representa los iones Cr (VI) adsorbidos por gramo de adsorbente en equilibrio y el valor de $k_2 = 0.16$ g/mg.min está relacionado con la velocidad total de la bioadsorción de Cr (VI) por el gel tánico de queñua y el valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.9995$ indica el mejor ajuste. El modelo de pseudo segundo coincide con lo reportado por Chabaane et al. (2011) donde se observa que la mayor capacidad de adsorción en el equilibrio el gel tánico de mimosa $q_e = 9.2$ mg/g y su constante cinética de pseudo segundo orden $K_2 = 0.013$ g/mg.min, seguido de gel tánico de castaña $q_e = 10.7$ mg/g y $K_2 = 0,0093$ g/mg.min.

iii. Modelo de Elovich para el Cr (VI)

El modelo de Elovich tiene aplicación general en procesos de quimiadsorción, supone que los sitios activos del adsorbente son heterogéneos y por ello exhiben diferentes energías de activación. La

ecuación de Elovich se expresa de mediante a la siguiente ecuación (Batoool et al., 2023; Rabbani et al., 2016).

$$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t) \quad (29)$$

Tabla 32

Resultados del modelo de Elovich para el Cr (VI)

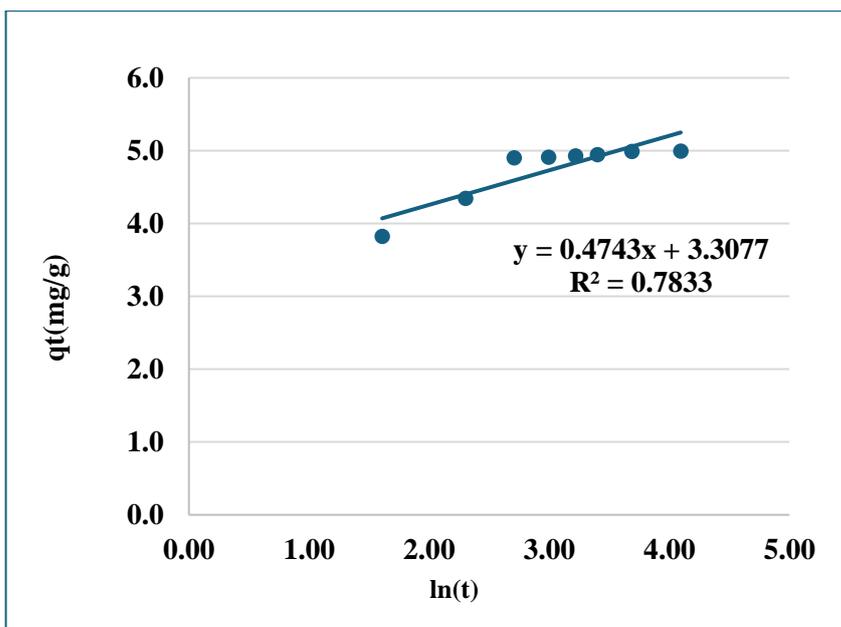
Nº	t (min)	ln(t)	qt(mg/L)
1	5	1.61	3.82
2	10	2.3	4.35
3	15	2.71	4.9
4	20	3	4.91
5	25	3.22	4.93
6	30	3.4	4.95
7	40	3.69	4.99
8	60	4.09	5

Nota: Elaborado con datos de la Ecuación 29.

La figura 18 muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de Elovich en su ecuación lineal para Cr (VI).

Figura 19

Ajuste de datos al modelo de Elovich del Cr (VI).



Nota. Elaborado con datos de la Tabla 32.

En la figura 18 se registran las constantes de Elovich α y β las cuales se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de q_t versus $\ln(t)$ de la ecuación (29). El valor de $\alpha = 502.7$ mg/g.min indica la velocidad inicial en la que son adsorbidos los iones Cr (VI) por gramo de adsorbente y el valor de $\beta = 2.11$ g/mg está relacionado con la superficie cubierta del adsorbente por los iones Cr (VI) y la energía de activación por adsorción química del proceso. El valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.7833$. Resultados similares reportan (Li et al., 2012).

Cálculos de la cinética del modelo de pseudo primer orden

$$y = -0.1309x + 0.48 \quad (30)$$

$$R^2 = 0.8474 \quad (31)$$

$$\text{Primer orden: } \ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 * t \quad (32)$$

$$\text{Luego: } \ln q_e = 0.48 \quad (33)$$

$$q_e = e^{(0.48)} = 1.616 = 1.62 \text{ mg/g} \quad (34)$$

$$k_1 = 0.1309 = 0.13 \text{ h}^{-1} \quad (35)$$

Cálculos de la cinética del modelo de pseudo segundo orden:

$$y = 0.1951x + 0.2301 \quad (36)$$

$$R^2 = 0.9995 \quad (37)$$

Ecuación de Pseudo Segundo Orden:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t \quad (38)$$

$$\frac{1}{q_e} = 0.1951 \rightarrow q_e = 5.126 = 5.13 \text{ mg/g} \quad (39)$$

$$\frac{1}{k_2 + q_e^2} = 0.2301 \quad (40)$$

$$\frac{1}{k_2 + (5.13)^2} = 0.2301 \quad (41)$$

$$\frac{1}{(0.2301) * (5.13)^2} = k_2 \quad (42)$$

$$k_2 = 0.165 = 0.17 \text{ g/mg.min} \quad (43)$$

Cálculos de cinética de modelo Elovich:

$$y = 0.4727x + 3.3037 \quad (44)$$

$$R^2 = 0.7833 \quad (45)$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t) \quad (46)$$

$$\frac{1}{\beta} = 0.4727 \quad (47)$$

$$\beta = \frac{1}{0.4727} = 2.115 = 2.11 \text{ g/mg} \quad (48)$$

$$\frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) = 3.3037 \quad (49)$$

$$\frac{1}{2.11} * (\ln \alpha + \ln \beta) = 3.3037 \quad (50)$$

$$\ln \alpha = 3.3037 * 2.11 - \ln(2.11) = 6.22 \quad (51)$$

$$\alpha = e^{6.22} = 502.70 \text{ mg/g.min} \quad (52)$$

Tabla 33

Constantes de los modelos cinéticos de adsorción Cr (VI).

Modelo cinético	Ecuación lineal	Constantes cinéticas	R ²
Pseudo Primer orden	$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 * t$	$q_e, \text{mg/g}$ $k_1 \text{ h}^{-1}$	1.62 0.13
Pseudo segundo orden	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 * t$	$q_e, \text{mg/g}$ $k_2, \text{mg/g.min}$	5.13 0.16
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t)$	$\alpha, \text{mg/g.min}$ $\beta, \text{g/min}$	502.70 2.11

Nota. Elaborado con los cálculos realizados para los modelos cinéticos.

Comparando los resultados el modelo de Segundo orden es que mejor se ajusta a la velocidad de bioadsorción con $R^2 = 0.9995$.

Tabla 34

Constantes de segundo orden para el Cr (IV)

Adsorbente	k_2 (g/mg.min)	q_e (mg/g)	Autor
Resina de tanino: Pb(II)	0.6967	7.148	Shilowa et al. (2021)
Resina de tanino: Ni(II)	0.0025	14.556	Shilowa et al. (2021)
Tanino fenólico inmovilizado Cd(II)	0.001559	2.45	Božić et al. (2009)
Tanino inmovilizado con Cd(II) pH=4 100mg/L	0.00097	35.11	Anirudhan y Suchithra, (2008)
Tanino inmovilizado con arcilla Cr(VI)	0.0099	7.84	Li et al. (2012)
Tanino inmovilizado de acacia negra Cr(VI)	0.0677	71.736	Xu et al. (2017)
Tanino inmovilizado de caqui Cr(VI)	0,018	49.5	Cui et al. (2013)
Tanino inmovilizado Cr(VI)	0,041	6.1	Chabaane et al. (2011)
Tanino inmovilizado Cr(VI)	0.0093	10.4	Chabaane et al. (2011)

C. Ajuste a una isoterma de equilibrio para el Cd (II)

Los mejores resultados se encontraron en la tabla 35 para el Cd (II) a una temperatura de 40 y pH=4 donde se obtuvo la mejor adsorción del cadmio con el gel tánico.

Tabla 35

Datos para determinar la isoterma para el Cd (II)

Nº	C_0 (mg/L)	w (g)	V (mL)	t (min)	C_e (mg/L)	C_{ret} (mg/L)	Q (mg/g)	A%
1	20	1	50	30	0.83	19.17	0.96	95.85
2	40	1	50	30	4.9	35.1	1.76	87.75
3	60	1	50	30	9.29	50.71	2.54	84.52
4	80	1	50	30	15.42	64.58	3.23	80.73
5	100	1	50	30	22.1	77.9	3.9	77.9
6	120	1	50	30	43	77	3.85	64.17
7	140	1	50	30	64.07	75.93	3.8	54.24
8	160	1	50	30	84.44	75.56	3.78	47.23

Tabla 36

Continuación de la tabla 35 de resultados para isotermas

Nº	Ce	q	Log Ce	Log q	Ce (mg/L)	Ce/qe (g/L)
1	0.83	0.96	-0.08	-0.02	0.83	0.866
2	4.9	1.76	0.69	0.24	4.9	2.792
3	9.29	2.54	0.97	0.4	9.29	3.664
4	15.42	3.23	1.19	0.51	15.42	4.775
5	22.1	3.9	1.34	0.59	22.1	5.674
6	43	3.85	1.63	0.59	43	11.169
7	64.07	3.8	1.81	0.58	64.07	16.876
8	84.44	3.78	1.93	0.58	84.44	22.35

Nota. Elaborado con datos experimentales de laboratorio LAS.

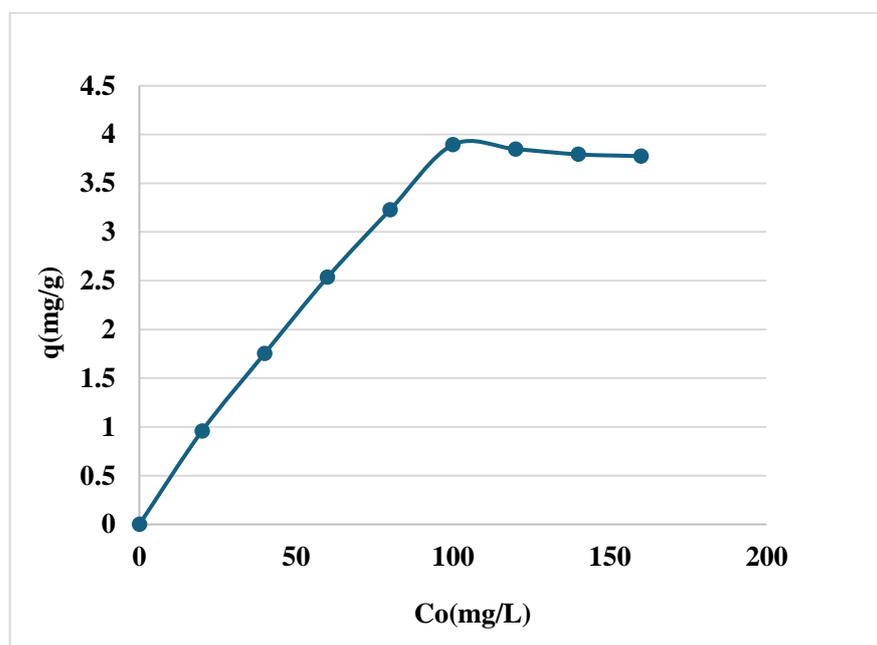
En la tabla 37 se muestran los datos experimentales de bioadsorción para la isoterma de adsorción:

Tabla 37

Resultados para la isoterma de adsorción

Nº	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Q (mg/g)
1	20	0.83	0.96
2	40	4.9	1.76
3	60	9.29	2.54
4	80	15.42	3.23
5	100	22.1	3.9
6	120	43	3.85
7	140	64.07	3.8
8	160	84.44	3.78

En la figura 19 se aprecia la capacidad de adsorción de Cd (II) versus la concentración en el equilibrio.

Figura 20*Isotermas de adsorción del Cd (II)*

Nota. Elaborado con datos de la Tabla 37.

En la figura 19 se observa que la capacidad de adsorción de Cd (II) se logra a una concentración en el equilibrio $C_0 = 100.0$ mg/L probablemente debido a que el gel tánico puede disponer de mayor cantidad de sitios activos para atrapar a los iones Cd (II). La capacidad de adsorción aumenta, pero en menor grado debido a que la superficie del adsorbente quedó saturada de los iones Cd (II) por lo que a partir de la concentración en el equilibrio $C_0 = 100$ mg/L la capacidad de adsorción es de $q = 3.90$ mg/g empieza a disminuir, lo que significa que se alcanzó el equilibrio entre los iones Cd (II) retenidos en la superficie del adsorbente en la solución acuosa.

Se emplearon los modelos de las isotermas de Langmuir y Freundlich para evaluar los resultados experimentales en el equilibrio

C.1 Isoterma de Langmuir para el Cadmio (II)

En el modelo de Langmuir la adsorción es monocapa y homogénea por lo que el adsorbato con la misma energía se coloca en todas las superficies del adsorbente. El concepto subyacente de Langmuir es que la

adsorción tiene lugar en lugares concretos y homogéneos del adsorbente. Como resultado, cuando una molécula ocupa un espacio, otra molécula que no es absorbida (Sadegh et al., 2023).

La forma lineal de la ecuación de Langmuir es (Batoool et al., 2023).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{1}{q_{max}} * C_e \quad (53)$$

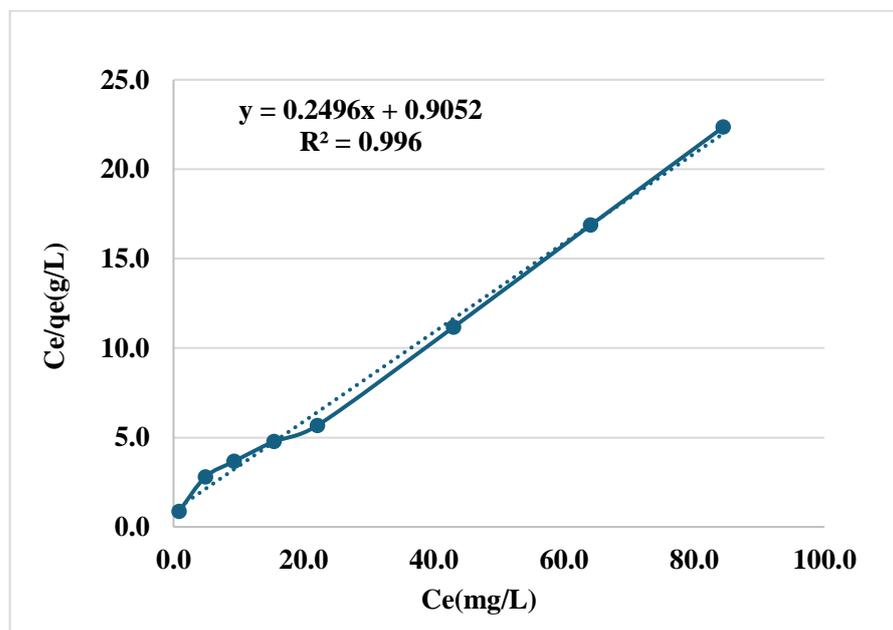
Tabla 38

Resultados de la isoterma de Langmuir para el Cd (II)

Nº	Ce (mg/L)	qe(mg/g)	Ce/qe (g/L)
1	0.83	0.96	0.87
2	4.9	1.76	2.79
3	9.29	2.54	3.66
4	15.42	3.23	4.78
5	22.1	3.9	5.67
6	43	3.85	11.17
7	64.07	3.8	16.88
8	84.44	3.78	22.35

Nota. Elaborado con datos de los cálculos de la Ecuación 53.

La figura 20 se muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de Langmuir en su expresión lineal

Figura 21*Ajuste de datos a la isoterma de Langmuir del Cd (II)*

Nota. Elaborado con cálculos de la Tabla 38.

La capacidad máxima de adsorción (q_{\max}) y la constante de Langmuir (b) se determinaron del intercepto y pendiente de la gráfica de C_e/q_e versus C_e de la ecuación (53) (Sánchez et al., 2010). El valor de $q_{\max} = 4.01$ mg/g representa la capacidad máxima de adsorción de Cd (II) que presenta la superficie activada del material adsorbente y el valor de $b = 0.28$ L/mg refleja el grado de afinidad del adsorbente por el adsorbato. El coeficiente de correlación $R^2 = 0,9960$. Los resultados coinciden con los obtenidos por Batool et al. (2023), que utiliza como bioadsorbente Rosa damascena y con Sadegh et al. (2023), que utiliza tanino inmovilizado de quebracho (*Schinopsis lorentzii*), tanino inmovilizado de persimon y resina de tanino valonia. valonia y el ajuste de la isoterma de Langmuir coincide con el trabajo realizado por (Wattanakornsiri et al., 2022).

C.2 Isoterma de Freundlich del Cd (II)

La isoterma de Freundlich expresa la adsorción multicapa para superficies no homogéneas. La isoterma de Freundlich supone que la superficie del adsorbente es heterogénea y que las posiciones de adsorción tienen distintas afinidades, en primer lugar, se ocupan las posiciones de

mayor afinidad y posteriormente se van ocupando el resto (Batool et al., 2023; Sadegh et al., 2023).

La ecuación de Freundlich en su expresión lineal es (Wang et al., 2010).

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} * \log C_e \quad (54)$$

De la tabla 39 se muestran los valores de log Ce y de log qe

Tabla 39

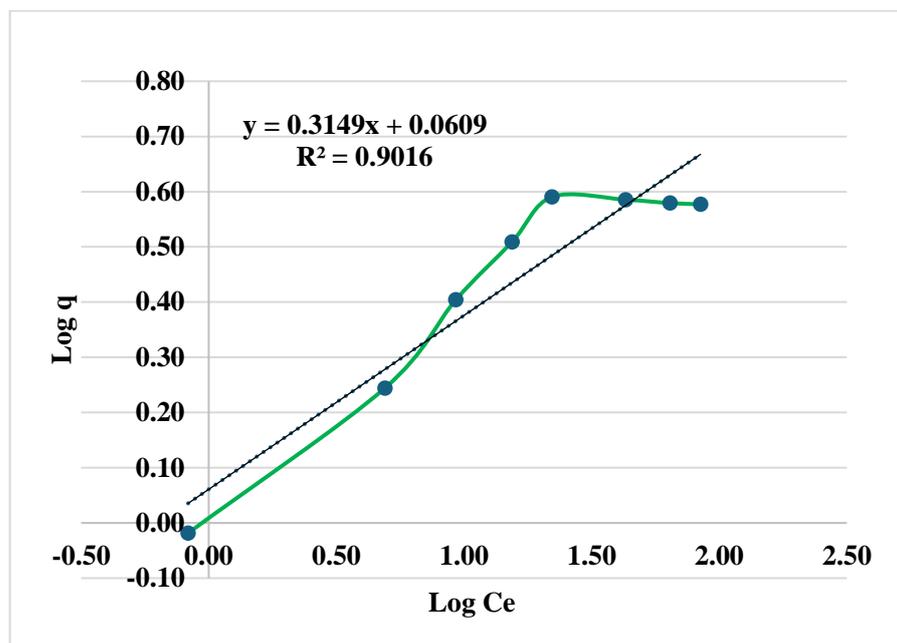
Resultados para la isoterma de Freundlich del Cd (II)

Nº	Ce	q	Log Ce	Log q
1	0.83	0.96	-0.08	-0.02
2	4.90	1.76	0.69	0.24
3	9.29	2.54	0.97	0.40
4	15.42	3.23	1.19	0.51
5	22.10	3.90	1.34	0.59
6	43.00	3.85	1.63	0.59
7	64.07	3.80	1.81	0.58
8	84.44	3.78	1.93	0.58

Nota. Elaborado con datos de los calculos de la Ecuación 54.

Figura 22

Ajuste de datos a la isoterma de Freundlich del Cd (II)



.Nota. Elaborado con los datos de la Tabla 39.

En la figura 21 se observa el ajuste de datos de la isoterma de Freundlich, la constante de Freundlich K_f y el valor de n se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de $\log q_e$ versus $\log C_e$ de la ecuación (12). El valor de $K_f = 1.15$ se relaciona con la capacidad de adsorción y el valor de $n = 3.18$ representa la intensidad de adsorción. El coeficiente de correlación $R^2 = 0.9016$ (Sadegh et al., 2023), utilizan como bioadsorbente tanino inmovilizado de quebracho (*Schinopsis lorentzii*), tanino inmovilizado de persimon y resina de tanino valonia, obteniendo resultados similares (Batool et al., 2023), reportan resultados de $n = 2.0$ y $K_f = 12.4$ que indica que relaciona una mayor intensidad de adsorción.

Cálculos de las contantes de la Isoterma de Langmuir

$$y = 0,2496x + 0.9052 \quad (55)$$

$$R^2 = 0.9960 \quad (56)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x} * b} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}} \quad (57)$$

$$\frac{1}{q_{m\acute{a}x}} = 0.2496 \rightarrow q_{m\acute{a}x} = 4.006 \quad (58)$$

$$\frac{1}{q_{m\acute{a}x} * b} = 0,9052 \quad (59)$$

$$b = \frac{1}{4.006 * 0.9052} = 0.2758 \quad (60)$$

Isoterma de Freundlich

$$y = 0.3149x + 0.0609 \quad (61)$$

$$R^2 = 0.9016 \quad (62)$$

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} * \log C_e \quad (63)$$

$$\frac{1}{n} = 0.3149 \rightarrow n = \frac{1}{0.3149} \quad (64)$$

$$n = 3.1756 \quad (65)$$

$$\log \frac{1}{n} = 0.3149 \quad (66)$$

$$n = \frac{1}{0.3149} \Rightarrow k = 0.0609 \quad (67)$$

$$k = 10^{0.0609} \quad (68)$$

$$\text{luego } k_f = 1.15 \quad (69)$$

En la tabla 40 se resume las constantes y coeficientes de correlaci3n de las isotermas de Langmuir y Freundlich del Cd (II):

Tabla 40

Constantes de las isotermas de Langmuir y Freundlich del Cd (II)

Isoterma	Ecuación Linealizada	Constantes Isotérmicos	R ²
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{C_e}{q_{max}}$	$q_{max} = 4.01 \text{ mg/g}$ $b = 0.28 \text{ L/mg}$	0.9960
Freundlich	$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} * \log C_e$	$K_f = 1.15$ $n = 3.18$	0.9016

Nota. Elaborado con los cálculos realizados para las isotermas.

Comparando los resultados de los coeficientes de correlación de la tabla 41 se observa que la isoterma que mejor se ajustó a los datos experimentales es el modelo de Langmuir ($R^2 = 0.9960$). Este hecho constata la hipótesis hecha al inicio del trabajo, donde se supuso que la bioadsorción del ion Cadmio (II) en solución acuosa utilizando el gel tánico de la corteza de queñua se representaría con la isoterma de Langmuir. Por consiguiente, la isoterma de Langmuir es válida para todos los experimentos. La ecuación de Langmuir es válida para la adsorción monocapa en una superficie completamente homogénea con un número finito de sitios idénticos (Yurtsever y Şengil, 2009).

Este modelo indica que la superficie del adsorbente es uniforme, es decir todos los sitios de adsorción son equivalentes, la adsorción se produce a través del mismo mecanismo y la máxima adsorción se forma en monocapa. Los iones metálicos del Cd (II) se encuentran localizados y no se mueven sobre la superficie del adsorbente (Sadegh et al., 2023; Schiewer y Volesky, 2000).

D. Modelos cinéticos de bioadsorción del Cd (II)

Para la evaluación de la cinética de bioadsorción de Cd (II) con gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) se realizaron 8 experimentos con diferentes tiempos, se colocó a cada uno volumen 50 mL de concentración inicial (C_0) 100 mg/L, se trabajó con los valores óptimos del diseño experimental de cantidad de adsorbente de 1 g; pH 4 y temperatura de 40

°C. Para calcular los valores de la cinética de adsorción se empleó la ecuación (5) del capítulo III, sus resultados se presentan en la tabla 41.

Tabla 41

Datos experimentales para modelos cinéticos Cd (II)

N°	t (min)	C ₀ (mg/L)	m (g)	V (mL)	C _e (mg/L)	C _{ret} (mg/L)	Q (mg/g)	A%
	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	100	1	50	8.36	91.64	4.582	91.64
2	10	100	1	50	0.507	99.49	4.9747	99.49
3	15	100	1	50	0.345	99.66	4.9828	99.66
4	20	100	1	50	0.278	99.72	4.9861	99.72
5	25	100	1	50	0.273	99.73	4.9864	99.73
6	30	100	1	50	0.264	99.74	4.9868	99.74
7	40	100	1	50	0.261	99.74	4.987	99.74
8	60	100	1	50	0.261	99.74	4.987	99.74

Nota. Elaborado con los datos experimentales de laboratorio LAS.

Tabla 42

Continuación de la tabla 41

N°	t (min)	qe-qt	t/q	ln(qe-qt)
	0	0	0	0
1	5	0.4050	1.09122654	-0.90399168
2	10	0.0123	2.01019167	-4.39815602
3	15	0.0042	3.01038583	-5.47267075
4	20	0.0008	4.011151	-7.07027421
5	25	0.0006	5.01368737	-7.4185809
6	30	0.0001	6.01588193	-8.80487526
7	40	---	8.02093464	---
8	60	---	12.031402	---

Nota. Elaborado con los datos experimentales de laboratorio LAS.

D.1 Cinética de adsorción del Cadmio (II).

Para la evaluación de la cinética de bioadsorción de Cd (II) con gel tánico de queñua (*Polylepis spp*) se realizaron 8 experimentos con diferentes tiempos, se colocó a cada uno volumen 50 mL de concentración inicial (C_0) 100 mg/L, se trabajó con los valores del diseño experimental de cantidad de adsorbente de 1 g; pH 4 y temperatura de 40 °C. Para calcular los valores de la capacidad de adsorción se empleó la ecuación (5) del capítulo III.

Tabla 43

Resultados de la cinética de adsorción del Cd (II)

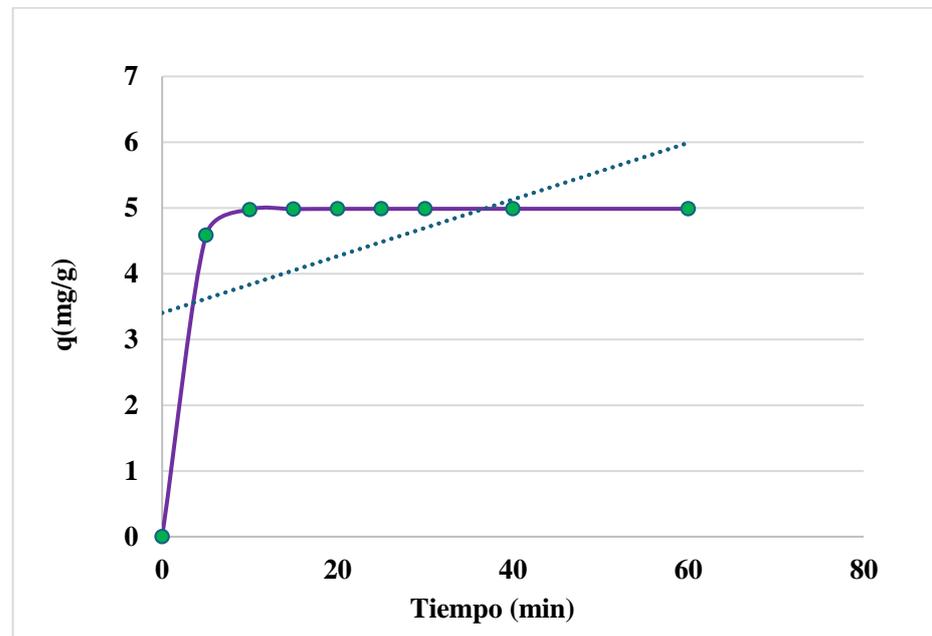
Nº	t (min)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q (mg/g)
1	5	100	8.36	4.58
2	10	100	0.51	4.97
3	15	100	0.35	4.98
4	20	100	0.28	4.99
5	25	100	0.27	4.99
6	30	100	0.26	4.99
7	40	100	0.26	4.99
8	60	100	0.26	4.99

Nota. Elaborado con datos de la Tabla 42.

La figura 22 muestra la evolución de la cinética de adsorción del Cd (II).

Figura 23

Cinética de bioadsorción de Cd (II)



Nota. Elaborado con datos de la Tabla 43.

D.2 Ajuste a un modelo cinético del Cd (II)

Con los resultados experimentales se evaluaron los modelos de pseudo primer orden; pseudo segundo orden y elovich, con el fin de predecir el modelo que mejor describa la cinética de bioadsorción de Cd (II).

Modelo de pseudo primer orden del Cd (II)

El modelo cinético de pseudo primer orden de Lagergren es la ecuación cinética más popular y sólo para la fase inicial rápida. El modelo de pseudo primer orden refiere que el ion metálico se adsorbe en un sitio activo sobre la superficie del adsorbente y puede ser formulado a partir de la siguiente ecuación (Batoool et al., 2023; Wang et al., 2010).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 * t \quad (70)$$

Tabla 44

Resultados del modelo de pseudo primer orden del Cd (II)

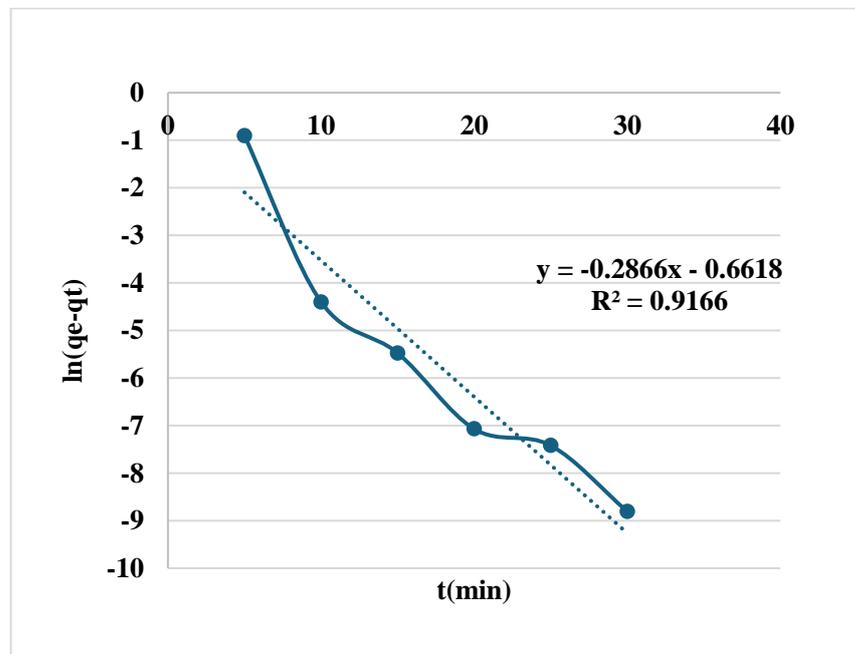
Nº	t (min)	q(mg/g)	ln(qe-qt)
1	5	4.582	-0.904
2	10	4.975	-4.398
3	15	4.983	-5.473
4	20	4.986	-7.070
5	25	4.986	-7.419
6	30	4.987	-8.805
7	40	4.987	-----
8	60	4.987	-----

Nota. Elaborado con las datos de los caculos de la Ecuación 70.

En la figura 23 se aprecia el ajuste de los datos experimentales al modelo de pseudo primer orden en su expresión lineal.

Figura 24

Ajuste de datos al modelo de pseudo primer orden del Cd (II).



Nota. Elaborado con las datos de la Tabla 44.

La capacidad de adsorción de Cd (II) en el equilibrio (q_e) y la constante cinética de pseudo primer orden (k_2) se determinaron del

intercepto y de la pendiente de la gráfica de $\ln(q_e - q_t)$ versus t como se muestra en la ecuación (70). Para la ecuación de pseudo primer orden, la capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) indica que se adsorbieron 1.94 mg/g de iones cadmio (II) por gramo de adsorbente de gel tánico de corteza de queñua en el equilibrio y la constante cinética de pseudo primer orden $k_1 = 0.29 \text{ min}^{-1}$ señala la velocidad en la que son adsorbidos los iones Cd (II) por gel tánico de raíz de queñua. El coeficiente de correlación $R^2 = 0.9166$.

Modelo de pseudo segundo orden del Cd (II)

El modelo cinético de pseudo segundo orden está basado en la capacidad de adsorción de la fase sólida, donde el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa. La ecuación de pseudo segundo orden en su expresión lineal esta designada (Batoool et al., 2023; Ho y McKay, 2003).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t \quad (71)$$

Tabla 45

Resultados del modelo pseudo segundo orden del Cd (II).

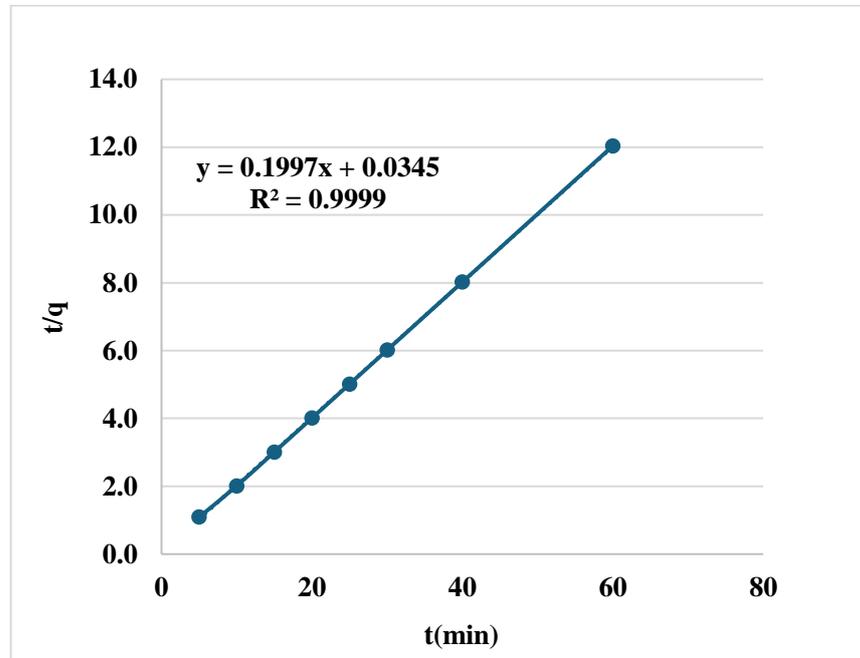
t (min)	qt	t/q
5	4.58	1.09
10	4.97	2.01
15	4.98	3.01
20	4.99	4.01
25	4.99	5.01
30	4.99	6.02
40	4.99	8.02
60	4.99	12.03

Nota. Elaborado con los datos de los cálculos de la Ecuación 71.

La figura 24 muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de pseudo segundo orden en su ecuación lineal

Figura 25

Ajuste de datos al modelo de pseudo segundo orden del Cd (II)



Nota. Elaborado con los datos de la Tabla 45.

La capacidad de adsorción de Cd (II) en el equilibrio (q_e) y la constante cinética de pseudo 2do orden (k_2) se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de t/q_t versus t de la ecuación (71). Siendo el valor de $q_e = 5,01$ mg/g que representa los iones Cr (VI) adsorbidos por gramo de adsorbente y el valor de $k_2 = 1,16$ g/mg.min está relacionado con la velocidad total de la bioadsorción de Cr (VI) por el gel tánico de queñua y el valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.9999$. Como lo refleja su R^2 superior a 0.99, el modelo de pseudo segundo orden encajaba bien con la adsorción de Cd (II). La velocidad de adsorción del gel tánico estuvo determinada por la capacidad de adsorción más que por la concentración del Cd (II) en la solución. El paso determinante de la velocidad fue el proceso de quimisorción (Zhou et al., 2019). El ajuste del modelo de pseudo segundo orden coincide con el trabajo realizado por (Wattanakornsiri et al., 2022).

Ajuste del Modelo de Elovich para el Cd(II)

La ecuación que define el modelo de Elovich se basa en un principio cinético que supone que los sitios de adsorción aumentan exponencialmente con la adsorción, lo que implica una adsorción multicapa.

La ecuación lineal de Elovich se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación (Batool et al., 2023; Rabbani et al., 2016).

$$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t) \quad (72)$$

Tabla 46

Resultados del modelo de Elovich del Cd (II).

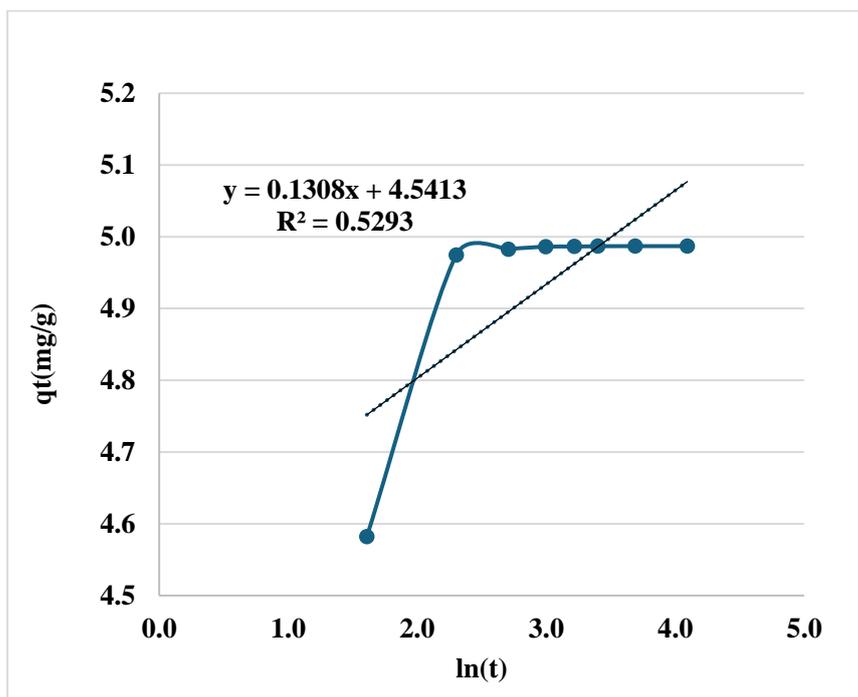
Nº	t (min)	ln(t)	q _t (mg/L)
1	5	1.609	4.582
2	10	2.303	4.975
3	15	2.708	4.983
4	20	2.996	4.986
5	25	3.219	4.986
6	30	3.401	4.987
7	40	3.689	4.987
8	60	4.094	4.987

Nota. Elaborado con los datos calculados en la Ecuación 72.

La figura 25 muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de Elovich en su ecuación lineal.

Figura 26

Ajuste de datos al modelo de Elovich del Cd (II)



Nota. Elaborado con los datos de la Tabla 46.

En la figura 25 se registran las constantes de Elovich α y β las cuales se determinaron del intercepto y de la pendiente de la gráfica de qt versus $\ln(t)$ de la ecuación (72). El valor de $\alpha = 1.59 * 10^{14}$ mg/g.min indica la velocidad exponencial en la que son adsorbidos los iones Cd (II) por gramo de adsorbente (Yurtsever y Şengil, 2009) y el valor de $\beta = 7.65$ g/mg está relacionado con la superficie cubierta del adsorbente por los iones Cd (II) y la energía de activación por adsorción química del proceso. El valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.5293$. En la investigación realizada por (Issaoui et al., 2021) el mejor modelo cinético para el Cd (II) fue Elovich.

Cálculos para el Cd (II)

$$y = -0.2866 x - 0.6618 \quad (73)$$

$$R^2 = 0.9166 \quad (74)$$

a. Modelo de Pseudo Primer orden:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 * t \quad (75)$$

$$y = -0.2866x - 0.6618 \quad (76)$$

$$k_1 = 0.29 \quad (77)$$

$$\text{Luego: } \ln q_e = -0.6618 \quad (78)$$

$$q_e = e^{(0.6618)} = 1.94 \quad (79)$$

b. Modelo de Pseudo Segundo Orden

$$y = 0.632x + 5.3812 \quad (80)$$

$$R^2 = 0.9792 \quad (81)$$

Ecuación de Pseudo Segundo Orden

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t \quad (82)$$

$$y = 0.1997x + 0.0345 \quad (83)$$

$$\frac{1}{q_e} = 0.1997 \rightarrow q_e = 5.01 \quad (84)$$

$$\frac{1}{k_2 * q_e^2} = 0.0345 \quad (85)$$

$$\frac{1}{k_2 * (5.01)^2} = 0.0345 \quad (86)$$

$$\frac{1}{(0.0345) * (5.01)^2} = k_2 \quad (87)$$

$$k_2 = 1.16 \quad (88)$$

c. Modelo Elovich para Cd(II)

$$y = 0.1308x + 4.5413 \quad (89)$$

$$R^2 = 0.5293 \quad (90)$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t) \quad (91)$$

$$\frac{1}{\beta} = 0.1308 \quad (92)$$

$$\beta = \frac{1}{0.1308} = 7,65 \quad (93)$$

$$\beta = 7.65 \quad (94)$$

$$\frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) = \frac{1}{\beta} * (\ln \alpha + \ln \beta) = 4.5413 \quad (95)$$

$$\frac{1}{7.75} * \ln \alpha + \ln(7.65) = 4.5413 \quad (96)$$

$$\ln \alpha = 4.5413 * 7.65 - \ln(7.65) = 32.70 \quad (97)$$

$$\alpha = e^{32.7} = 1.59 * 10^{14} \quad (98)$$

$$\alpha = 1.59 * 10^{14} \quad (99)$$

Tabla 47

Constantes de los modelos cinéticos de adsorción del Cd (II)

Modelo cinético	Ecuación Lineal	Constantes Cinéticas	R ²
Pseudo primer orden	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 * t$	$q_e = 1.94 \text{ mg/g}$ $k_1 = 0.29 \text{ L/min}$	0.9166
Pseudo segundo orden	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t$	$q_e = 5.01 \text{ mg/g}$ $k_2 = 1.16 \text{ g/mg.min}$	0.9999
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} * \ln(\alpha * \beta) + \frac{1}{\beta} * \ln(t)$	$\alpha = 1.59 * 10^{14} \text{ mg/g.min}$ $\beta = 7.65 \text{ g/mg}$	0.5293

Nota. Elaborado con los datos de los modelos cinéticos para el Cd(II).

En la tabla 47 se registra los resultados de las constantes de los modelos cinéticos de adsorción, se observa que el mayor coeficiente de correlación es para el modelo de pseudo segundo orden ($R^2 = 0.9999$) (Zou et al., 2019). Este resultado confirma la hipótesis planteada al inicio del trabajo, que este modelo cinético de pseudo segundo orden describe mejor la velocidad de bioadsorción del ion Cd (II) en solución acuosa utilizando el gel tánico de queñua. Su comportamiento indica que el ion Cd (II) se adsorbe en dos sitios activos sobre la superficie del adsorbente (Shilowa et al., 2021; Yurtsever y Şengil, 2009).

Tabla 48

Constantes de la ecuación de pseudo segundo orden con diversos adsorbentes

Adsorbente/adsorbato	k₂ (g/mg.min)	q_e (mg/g)	Autor
Resina de tanino/ Pb (II)	0.6967	7.148	Shilowa et al. (2021)
Resina de tanino/ Ni (II)	0.0025	14.556	Shilowa et al. (2021)
Tanino fenólico inmovilizado/ Cd (II)	0.001559	2.45	Božić et al. (2009) (Božić et al., 2009)(Božić et al., 2009)(Božić et al., 2009)(Božić et al., 2009)(Božić et al., 2009)(Božić et al., 2009)(Božić et al., 2009)
Tanino inmovilizado/ Cd (II) pH=4 y C ₀ =100mg/L	0.00097	35.11	Anirudhan y Suchithra (2008)
Tanino inmovilizado con arcilla/ Cr (VI)	0.0099	7.84	Li et al. (2012)
Tanino inmovilizado de acacia negra/ Cr (VI)	0.0677	71.736	Xu et al. (2017)
Tanino inmovilizado de caqui/ Cr (VI)	0,018	49,5	Cui et al. (2013)
Tanino inmovilizado/ Cr (VI)	0,041	6.1	Chabaane et al. (2011)
Tanino inmovilizado/ Cr(VI)	0.0093	10.4	Chabaane et al. (2011)

4.1.3 Evaluar el pH y la temperatura en un diseño experimental (tercer objetivo)

A. Diseño experimental de la bioadsorción del ion Cr (VI)

El diseño experimental central compuesto ortogonal se realizó para investigar todas las posibles combinaciones de los niveles mínimo y máximo de las variables, de los puntos axiales o estrella y de las réplicas en el centro de los experimentos para determinar el modelo matemático que represente a la variable respuesta que representa al porcentaje de bioadsorción del Cr (VI) como se muestra en la tabla 49.

Tabla 49

Resultados del porcentaje de bioadsorción del Cr (VI)

Nº	m (g)	pH	T (°C)	Y ₁ (%B _{Cr})
1	1	2	20	96.98
2	1	4	20	74.36
3	1	2	40	84.37
4	1	4	40	73.7
5	1	1.58579	30	94.91
6	1	4.41421	30	73.5
7	1	3	15.8579	84.09
8	1	3	14.1421	74.76
9	1	3	30	87.59
10	1	3	30	87.09

Nota. Elaborado con los datos experimentales de laboratorio LAS.

a. Efectos estimados para % bioadsorción de Cr (VI)

Análisis del diseño experimental de la capacidad de adsorción de Cr (VI), se realizó empleando el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVIII. En la Tabla 50 se muestra los efectos estimados para el porcentaje bioadsorción de Cr (VI).

Tabla 50

Efectos estimados para % bioadsorción de Cr (VI)

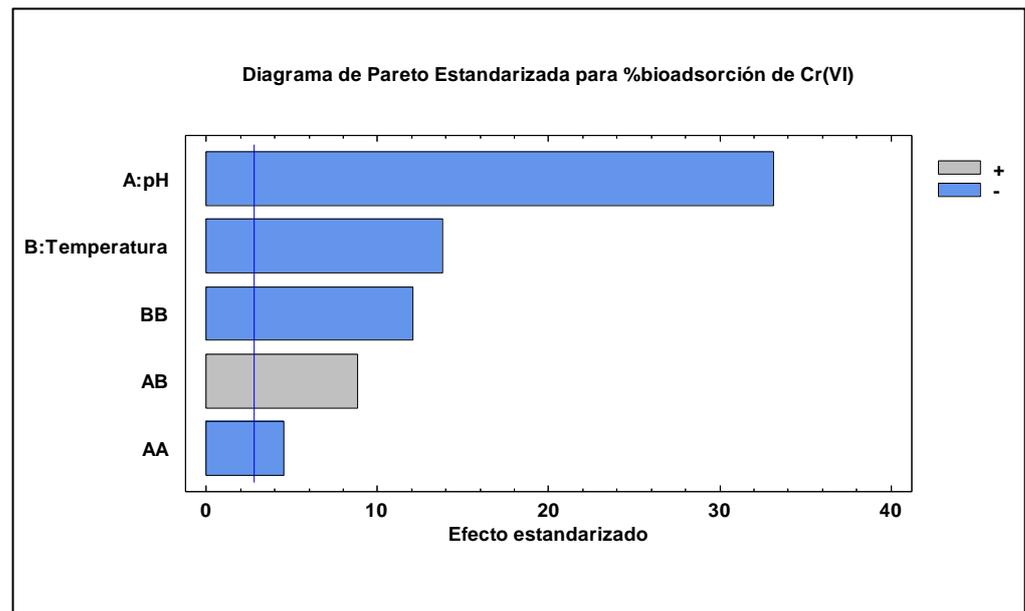
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	87.34	0.4792	
B: pH	-15.892	0.4792	1
C: Temperatura (°C)	-6.616	0.4792	1
AA	-2.866	0.6339	1.225
AB	5.975	0.6777	1
BB	-7.646	0.6339	1.225

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En tabla 50 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.225. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. El pH y la temperatura son negativos significa que se encuentran en su punto máximo y se deben mantener como constantes. Los signos de las cuadraturas de variables son negativas significa que existe curvatura para todas las variables. La interacción tiene signo positivo lo que significa que existe una interacción máxima entre las variables, en la figura 26 se muestra el diagrama de Pareto estandarizado.

Figura 27.

Diagrama de Pareto estandarizado para el Cr (VI)



Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

Del diagrama se observa claramente que el pH es la variable de mayor influencia, seguido de la temperatura, de la cuadratura de la temperatura, seguido de la interacción de pH y T y finalmente la cuadratura del pH.

b. Coeficiente de regresión del %bioadsorción de Cr (VI).

En la Tabla 52 se muestra los coeficientes de regresión que determinan el modelo matemático que representa el porcentaje de bioadsorción del Cr (VI).

Tabla 51*Coefficiente de regresión para %bioadsorción de Cr (VI).*

Coefficiente	Estimado
Constante	100.684
A: pH	-8.30981
B: Temperatura	1.06682
AA	-1.43312
AB	0.29875
BB	-0.0382314

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

A continuación, se muestra la ecuación del modelo ajustado que representa a la variable respuesta con los coeficientes de regresión de la tabla 52.

% Bioadsorción de Cr (VI)

$$\begin{aligned} &= 100.684 - 8.30981 * pH + 1.06682 * T - 1.43312 \\ &* pH^2 + 0.29875 * pH * T - 0.0382314 * T^2 \end{aligned} \quad (100)$$

c. Análisis de variancia del % bioadsorción del Cr (VI)

En la tabla 51 se realizó el análisis de variancia para la validación del modelo matemático que representa el porcentaje de bioadsorción del Cr (VI).

Tabla 52

Análisis de varianza para %bioadsorción de Cr (VI)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	505.116	1	505.116	1099.69	0.0000
B: Temperatura	87.547	1	87.547	190.60	0.0002
AA	9.38894	1	9.38894	20.44	0.0106
AB	35.7006	1	35.7006	77.72	0.0009
BB	66.8173	1	66.8173	145.47	0.0003
Error total	1.8373	4	0.459325		
Total (corr.)	697.255	9			

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

R-cuadrada = 99.7365 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.4071 porciento

Error estándar del est. = 0.677736

Error absoluto medio = 0.36081

Estadístico Durbin-Watson = 2.21966 (P=0.6421)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.24346

La tabla 51 de ANOVA divide la variabilidad del %bioadsorción de Cr (VI) en partes separadas para cada efecto. Para probar la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 5 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo matemático de segundo orden se ajusta al proceso de bioadsorción con 99.7365% de la

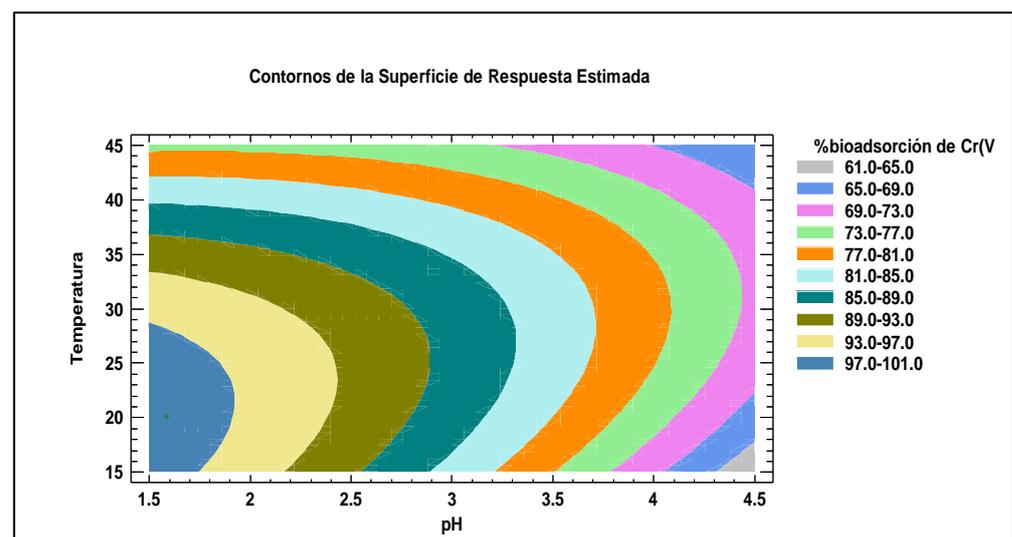
variabilidad de la capacidad de bioadsorción del Cr (VI). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.4071%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.677736. El error medio absoluto (MAE) de 0.36081 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. En la tabla 50 se observa que el error total del cuadrado medio $0.459 < 1$ lo cual comprueba que el trabajo está bien desarrollado según Palacios (2010).

d. Grafica de contorno y de superficie repuesta del porcentaje de bioadsorción de Cr (VI)

Los valores óptimos se determinaron de la evaluación de la gráfica de contorno y de superficie respuesta en las figuras 27 y 28.

Figura 28

Gráfica de contorno para el % Bioadsorción de Cr (VI)

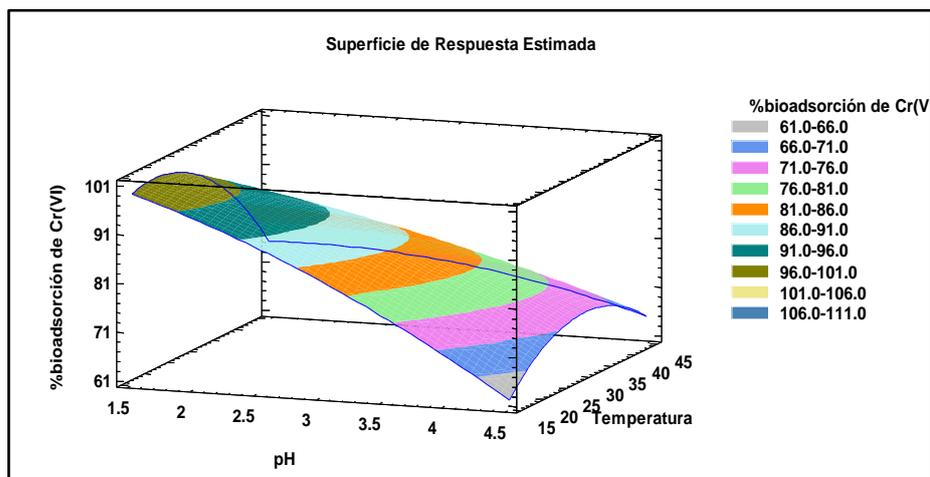


Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En la figura 27 se observa que la gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada, indica que el máxima porcentaje de bioadsorción de Cr (VI) se encuentra en el intervalo 97 a 101.0 % cuando pH se encuentra entre 1.5 y 1.8 y la temperatura entre 20 y 25°C.

Figura 29

Gráfica de superficie respuesta estimada del Cr (VI)



Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En figura 28 se muestra la gráfica de superficie estimada de manera tridimensional, la cual indica que se logra el máximo porcentaje de bioadsorción de Cr (VI) de 99.42% cuando se disminuye el pH hasta 1.59 y se incrementa la temperatura hasta 20.15 °C, a valores superiores se disminuye el porcentaje de bioadsorción de Cr (VI).

e. Valores óptimos

Respuesta optimizada:

Meta: maximizar % Bioadsorción de Cr (VI)

Valor óptimo = 99.42 %

Tabla 53

Resultados de las variables óptimas del % Bioadsorción de Cr (VI)

Factor	Bajo (- α)	Alto (+ α)	Valor Óptimo
pH	1.58579	4.41421	1.58579
Temperatura (°C)	15.8579	44.1421	20.1497

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En la tabla 53 se muestra la combinación de los valores bajos y altos de los puntos estrella de las variables independientes con el fin de obtener los valores óptimos que maximicen el porcentaje de adsorción cuyo valor dio como resultado 99.42 % significa que 1 g de adsorbente puede alcanzar un porcentaje del 99 % de bioadsorción de iones Cr (VI) en solución acuosa obtenido del programa estadístico STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

B. Diseño experimental de la bioadsorción de ion Cd (II)

En la tabla 54 se muestran los resultados de la variable respuesta en el programa estadístico STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

Tabla 54

Resultados del porcentaje de bioadsorción del Cd (II)

N ^o	W (g)	pH	T (°C)	Y (%B _{Cd})
1	1	2	20	12.13
2	1	4	20	75.44
3	1	2	40	23.20
4	1	4	40	99.74
5	1	1.58579	30	12.00
6	1	4.41421	30	80.45
7	1	3	15.8579	70.45
8	1	3	14.1421	85.14
9	1	3	30	82.08
10	1	3	30	81.90

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

Análisis del diseño experimental de la capacidad de adsorción de Cd (II), se realizó empleando el paquete estadístico Software STATIGRAPHICS Centurión XVIII. En la Tabla 55 se muestra los efectos estimados para el porcentaje bioadsorción de Cd (II).

- a) Efectos estimados para % bioadsorción de Cd (II)

En la Tabla 55 se muestran los resultados de los efectos estimados para el Cd(II)

Tabla 55

Efectos estimados para % bioadsorción de Cd (II)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	81.99	7.36826	
B: pH	59.1633	7.36827	1.0
C: Temperatura (°C)	14.0362	7.36827	1.0
AA	40.4565	9.74732	1.225
AB	6.615	10.4203	1.0
BB	-8.88629	9.74732	1.225

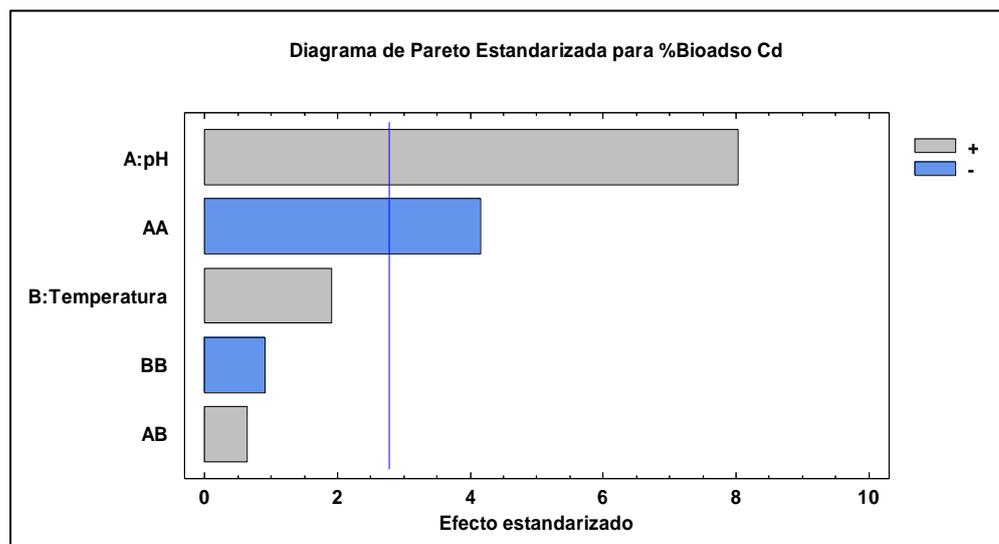
Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

La tabla 55 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.225. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. El pH y la temperatura son positivos significa que se encuentran en su punto mínimo y debe maximizarse. Los signos de la cuadraturas de variables son negativas significa que existe curvatura para todas las variables (Palacios, 2010).

En la figura 29 se muestra el diagrama de Pareto estandarizado.

Figura 29

Diagrama de Pareto estandarizado para Cd(II)



Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En la figura 29, los efectos de color plomo son directamente proporcionales a la variable respuesta % Bioadsorción de Cd (II), mientras que los de color azul son inversamente proporcionales. Donde el pH tiene mayor significancia.

b) Coeficiente de regresión del % bioadsorción del Cd (II)

En la Tabla 57 se muestra el coeficiente regresión para determinar la capacidad de bioadsorción del Cd (II).

Tabla 56

Coefficiente de regresión del % bioadsorción del Cd (II)

Coefficiente	Estimado
Constante	-220.08
A: pH	141.029
B: Temperatura	2.37545
AA	-20.228
AB	0.33075
BB	-0.0444

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

La ecuación del modelo ajustado es:

% Bioadsorción de Cd (II)

$$= -200.084 + 141.029 * pH + 2.37545 * T - 20.2282 * pH^2 + 0.33075 * pH * T - 0.04443 * T^2 \quad (101)$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. La ecuación 101 permite aproximar la respuesta cuando se encuentra relativamente cercano al óptimo.

c) Análisis de varianza del % bioadsorción del Cd (II)

En la tabla 57 se muestra el análisis de varianza para % de bioadsorción del Cd (II).

Tabla 57

Análisis de varianza para % bioadsorción del Cd (II)

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	7000.58	1	7000.58	64.47	0.0013
B: Temperatura	394.03	1	394.03	3.63	0.1295
AA	1870.53	1	1870.53	17.23	0.0143
AB	43.7582	1	43.7582	0.40	0.5600
BB	90.2465	1	90.2465	0.83	0.4135
Error total	434.33	4	108.582		
Total (corr.)	9843.24	9	10.42003		

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

R-cuadrada = 95.5875 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 90.072 por ciento

Error estándar del est. = 10.4203

Error absoluto medio = 4.85746

Estadístico Durbin-Watson = 1.71346 (P=0.3092)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0196638

La tabla 57 de ANOVA divide la variabilidad del %Bioadsorción de Cd (II) en partes separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%

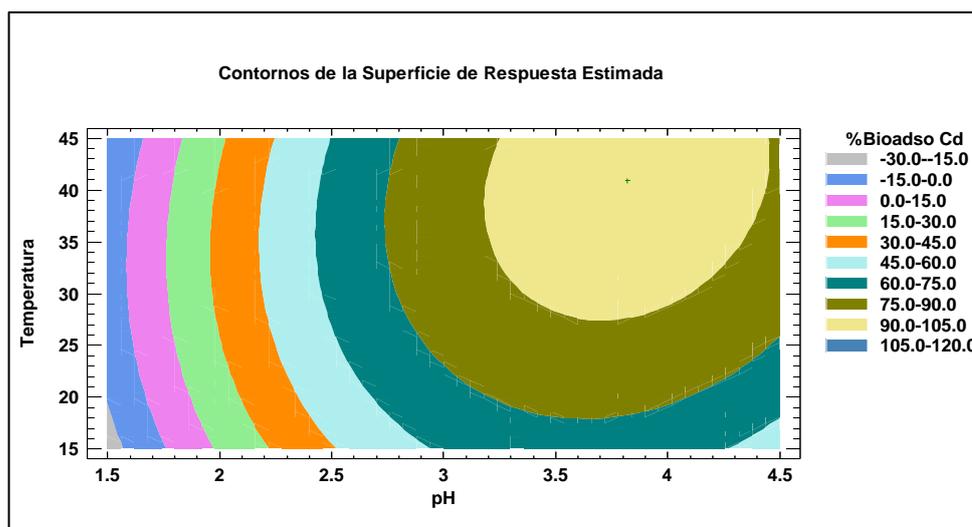
El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica que 95.5875% de la variabilidad en %Bioadsorción Cd (II). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 90.072%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 10.4203. El error medio absoluto (MAE) de 4.85746 es el valor promedio de los residuos según Palacios (2010).

a. Gráfica de contorno y de superficie respuesta del porcentaje de Bioadsorción del Cd (II)

Los valores óptimos se determinaron de la evaluación de la gráfica de contorno y de superficie respuesta en las figuras 30 y 31

Figura 30

Gráfica de contorno para el % Bioadsorción de Cd (II)

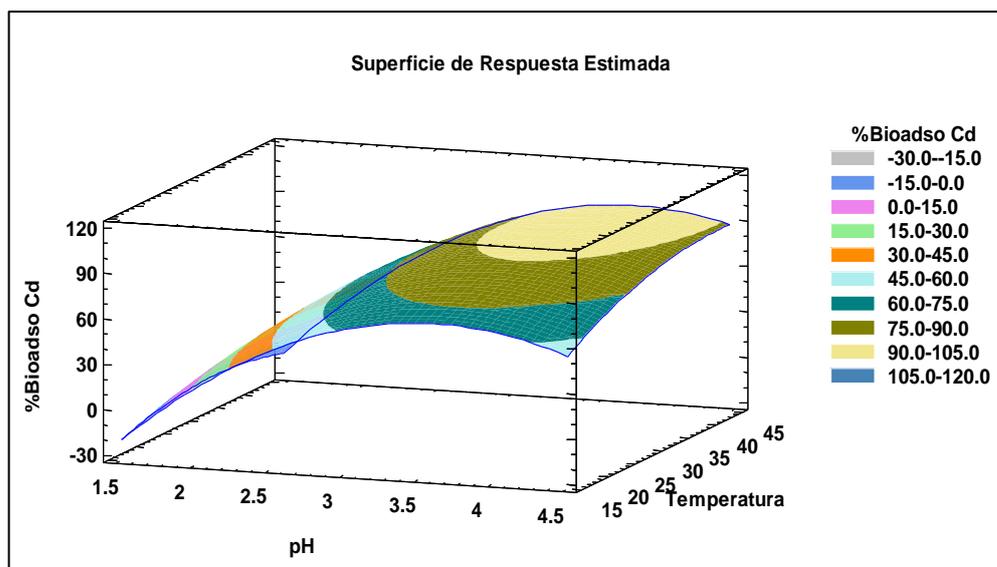


Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En la figura 30 se observa que la gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada, indica que el máximo porcentaje de bioadsorción de Cd (II) se encuentra en el intervalo 90 a 105,0 % cuando pH se encuentra entre 3.5 y 4.0 con la temperatura entre 40 y 45°C.

Figura 31

Gráfica de superficie respuesta estimada del Cd (II)



Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En la figura 31 se presenta la gráfica de superficie de respuesta estimada en forma tridimensional, la cual indica que se alcanza el máximo porcentaje de bioadsorción cuando el pH va aumentado hasta 4 y luego va disminuyendo hasta formar una parábola logrando la máxima bioadsorción de 97.97% y a una temperatura de 40.97°C.

d) Valores óptimos

Respuesta optimizada

Meta: maximizar %bioadsorción de Cd (II)

Valor óptimo = 97.97%

Tabla 58*Resultados de las variables óptimas para el Cd (II)*

Factor	Bajo (- α)	Alto (+ α)	Óptimo
pH	1.58579	4.41421	3.82075
Temperatura (°C)	15.8579	44.1421	40.955

Nota. Elaborado con datos de STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

En la tabla 58 se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza %Bioadsorción de Cd (II) sobre la región indicada. La combinación de los valores bajos y altos de los puntos axiales de las variables independientes con el fin de obtener los valores óptimos que maximicen el porcentaje de bioadsorción de Cd (II), cuyo valor dio como resultado 97.97%.

4.2 Discusión

Los resultados de la presente investigación permite conocer que el extracto tánico del se obtiene el gel tánico que se utilizó como bioadsorbente para la bioadsorción de los iones Cr(VI) y Cd(II), con la evaluación de las isothermas y modelos cinéticos se logra comprobar que el gel tánico es capaz de adsorber los iones Cr(VI) y Cd(II).

El porcentaje extracto tánico más alto obtenido con alcohol de 96° a reflujo total con malla 80 (180 μm) fue de 19.6636 %, lo que significa que a menor tamaño de partícula mayor porcentaje de extracción, lo que concuerda por lo reportado por (Cuetocue et al., 2020), que obtiene porcentajes semejantes con malla 60 (250 μm).

El espectro IR FT mostró la banda de estiramiento C=C característica de los alquenos y de los anillos aromáticos a 1604.1 cm^{-1} , el gel tánico mostró también una banda de absorción a 1203 cm^{-1} que se le asigna una flexión al grupo funcional O-H, la presencia de grupos funcionales demuestra una alta capacidad de bioadsorción del gel tánico, está de acuerdo con las investigaciones de Cui et al. (2013) y Cuetocue et al. (2020) que reportaron que la vibración del grupo funcional O-H desaparecen después de la adsorción de Cr(VI) y Cd(II) formando enlaces O-Cr(VI)-O debido a las reacciones redox ocurridas entre el gel tánico y el Cr(VI).

De acuerdo con la Tabla 23 de los resultados de los coeficientes de correlación se observa que la isoterma que mejor se ajustó a los datos experimentales es el modelo de Langmuir ($R^2 = 0,998$). Este hecho constata la hipótesis hecha en el presente trabajo de investigación, donde se supuso que la bioadsorción del ion Cr (VI) en solución acuosa utilizando gel tánico se representaría con la isoterma de Langmuir, Xu et al.(2017) obtiene un $R^2 = 0,769$ para la isoterma de Langmuir debido que utiliza un tanino inmovilizado de acacia negra, lo que significa que el tanino inmovilizado de queñua da mejores resultados.

De lo observado en la Tabla 33 el modelo cinético que mejor se ajusta para la adsorción de Cr(VI) es el modelo de Pseudo segundo orden por dar como resultados un coeficiente de correlación $R^2 = 0,998$ superior al modelo de Pseudo primer orden y la modelo de Elovich, lo mismo que una capacidad de adsorción en el equilibrio $q_e = 5.13$ mg/g y una constante cinética de Pseudosegundo orden $k_2 = 0.16$ g/mg.min está relacionado con la velocidad total de la bioadsorción de Cr (VI) por el gel tánico de queñua esto contrasta con Xu et al. (2017) que da para Cr(VI) un $R^2 = 0,999$, una capacidad de adsorción en equilibrio $q_e = 24.322$ mg/g y constante $k_2 = 0.00113$ g/mg.min con tanino inmovilizado de acacia negra, resultados semejantes ha obtenido Cui et al. (2013) con tanino inmovilizado de persimon ($R^2 = 0,999$).

Comparando los resultados de los coeficientes de correlación de la tabla 41 se observa que la isoterma que mejor se ajustó a los datos experimentales es el modelo de Langmuir ($R^2 = 0.9960$). La ecuación de Langmuir es válida para la adsorción monocapa en una superficie completamente homogénea con un número finito de sitios idénticos, estos resultados coinciden con los de Yurtsever y Şengil (2009) para el Pb(II) donde el modelo de Langmuir tiene un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.999$ utilizando tanino de quebracho modificado y la investigación realizada por Anirudhan y Suchithra (2008) reportan que para el Cd(II) el modelo mejor se ajusta es el de Langmuir con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.994$ con tanino inmovilizado de hidratalcita.

Con los resultados registrados en la tabla 47 el modelo cinético de adsorción de Cd(II) que mejor se ajusta es el de Pseudo segundo orden donde se observa que el mayor coeficiente de correlación es $R^2 = 0.9999$, con una capacidad de adsorción de equilibrio de 5,01 mg/g y una constante cinética $k_2 = 1.16$ g/mg.min comparando con los resultados de Zou et al., (2019) que registra un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.96$ para el modelo cinético de Pseudo segundo orden utilizando un adsorbente basado en ácido

tánico para el Pb(II). De la misma manera Shilowa et al. (2021) para el Pb(II) reportaron los siguientes resultados $R^2 = 0.995$ para el modelo cinético de Pseudo segundo orden, $q_e = 7.148$ mg/g y $k_2 = 0.6067$ g/mg.min semejantes a los resultados cinéticos de Cd(II).

La combinación de los valores bajos y altos de los puntos estrella de las variables independientes con el fin de obtener los valores óptimos ($pH = 1,58575$ y $T = 20.1497$) mostrados en la Tabla 53 permitió que se maximice el porcentaje de adsorción cuyo v resultado es de 99.42 %, lo que significa que 1 g de bioadsorbente puede alcanzar un porcentaje del 99 % de bioadsorción de iones Cr (VI) en solución acuosa obtenido del programa estadístico STATIGRAPHICS Centurión XVIII comparando con Cuetocue et al. (2020) es su investigación de optimización de un bioadsorbente natural, tanino de la corteza de pino (*Pinus patula*) utilizando un diseño experimental de Box-Benhken obtuvo un porcentaje de rendimiento óptimo de 73.81%.

Las variables óptimas para el Cd(II) que observan en la tabla 58 son pH de 3.82075 y temperatura de 40,955 los que maximizan el %Bioadsorción de Cd (II) cuyo resultado alcanzo fue de 97.97%, lo que significa que 1 g de bioadsorbente puede alcanzar un porcentaje de 98% de bioadsorción de iones Cd(II) en solución acuosa obtenido del programa STATIGRAPHICS Centurión XVIII.

CONCLUSIONES

PRIMERO: El porcentaje de extracto tánico que se logró extraer de la corteza queñua (*Polylepis spp*) fue de 99.6636 % para un tamaño de partícula de 180 μm con lo que logro extraer gel tánico con un porcentaje de 87.72%, por espectroscopia IR - FT, se identificaron grupos funcionales característicos con bandas de 3300 a 3600 cm^{-1} correspondiente a las vibraciones H-O-H y estiramiento N-H característico de los compuestos fenólicos (taninos), en la caracterización del gel tánico se identificó bandas de estiramiento de enlace O-H a 3600 a 3000 cm^{-1} correspondiente también los taninos, la banda de estiramiento C=C a 1604.1 cm^{-1} característico de alquenos y grupos aromáticos de taninos por lo que se le atribuye una alta capacidad de bioadsorción. La microscopía electrónica de barrido (SEM) mostro una estructura porosa en forma de bloques característico del gel tánico de queñua (*Polylepis spp*).

SEGUNDO: Para el Cr (VI) a una temperatura de 20°C y pH de 2 utilizando 1g de gel tánico de queñua (*Polylepis spp*), se representó mejor los datos experimentales con la isoterma de Langmuir con una máxima capacidad de bioadsorción q_{max} de 5.39 mg/g y una constante afinidad b de 2.18 L/mg indicando que los iones Cr(VI) se adsorben sobre una superficie uniforme en monocapa; en la cinética de bioadsorción del ion Cr (VI) el modelo cinético que mejor se ajustó es el de pseudo segundo orden. Con respecto al Cd(II) a una temperatura de 40 y pH de 4, empleando 1 g de gel tánico, la isoterma que mejor se ajustó a los datos experimentales fue el modelo de Langmuir con una máxima capacidad de bioadsorción q_{max} de 4.01 mg/g y con una constante de afinidad b de 0.20 L/mg y en la cinética de bioadsorción del Cd (II) el modelo de pseudo segundo orden obtuvo los mejores resultados que representan la velocidad de bioadsorción del Cd(II) en los sitios activos del gel tánico de queñua.

TERCERO: La evaluación de la temperatura y del pH se realizó en diseño central compuesto de Box Behncken para el Cr(VI) obteniéndose el máximo porcentaje de bioadsorción de 99.42 % con temperatura optima de 20.15°C y pH de 1.59 lo que significa que la máxima bioadsorción de



Cr(VI) se da en medio ácido. La misma evaluación de pH y temperatura se realizó para el Cd (II) consiguiendo un máximo porcentaje de bioadsorción de Cd (II) de 97.97 % a una temperatura óptima de 40.96°C y pH de 3.82 indicando que la bioadsorción de Cd (II) se da en un medio ligeramente ácido.

RECOMENDACIONES

- Realizar la caracterización del extracto tánico de queñua como la determinación de cenizas, porcentaje de lignina y porcentaje de celulosa.
- Aplicar el gel tánico de queñua en una columna de lecho empacado para bioadsorber otros metales pesados como el Pb (II) y Hg (II) de los relaves mineros y aguas residuales en proceso continuo.
- Realizar la evaluación de otras variables como la cantidad de bioadsorbente (g), volumen del adsorbato (mL) y tiempo (min) en un diseño de Box Wilson para la determinación del porcentaje de bioadsorción.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, S. H., Ismail, I. M., Mostafa, T. M., & Sulaymon, H. (2014). Biosorption of heavy metals. *Journal of Chemical Science and Technology*, 3((4)), 74–102. https://www.researchgate.net/publication/266795209_Biosorption_of_Heavy_Metals_A_Review
- Abdelfattah, A., Ramadan, H., Elsamahy, T., Eltawab, R., Mostafa, S., Zhou, X., & Cheng, L. (2023). Multifaced features and sustainability of using pure oxygen in biological wastewater treatment: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103883. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.103883>
- Acosta, I., Cárdenas, J. F., Alvarado-Hernández, D., & Moctezuma-Zárate, M. G. (2008). Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa Celular de *Paecilomyces* sp. *Información Tecnológica*, 19(1), 69–74. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100009>
- Acosta, I., Moctezuma-Zárate, M. de G., Cárdenas, J. F., & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción de Cadmio (II) en Solución Acuosa por Biomosas Fúngicas. *Información Tecnológica*, 18(1), 09–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642007000100003>
- Aguilar, J., Jaén, J., Vargas, A., Jiménez, P., Vega, I., Herrera, J., Borbón A, H., & Soto F, R. (2012). Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de once especies maderables de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i4.615>
- Amalina, F., Razak, A. S. A., Krishnan, S., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2022). The effects of chemical modification on adsorbent performance on water and wastewater treatment - A review. *Bioresource Technology Reports*, 20, 101259. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2022.101259>
- Ampiw, R. E., & Lee, W. (2020). Persimmon tannins as biosorbents for precious and heavy metal adsorption in wastewater: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(8), 3835–3846. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02748-3>
- Anirudhan, T. S., & Suchithra, P. S. (2008). Synthesis and characterization of tannin-

- immobilized hydrotalcite as a potential adsorbent of heavy metal ions in effluent treatments. *Applied Clay Science*, 42(1–2), 214–223. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2007.12.002>
- Anjum, A., Mazari, S. A., Hashmi, Z., Jatoi, A. S., Abro, R., Bhutto, A. W., Mubarak, N. M., Dehghani, M. H., Karri, R. R., Mahvi, A. H., & Nasser, S. (2023). A review of novel green adsorbents as a sustainable alternative for the remediation of chromium (VI) from water environments. *Heliyon*, 9(5), e15575. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15575>
- Apaza, B., & Huahuala, J. (2019). Bioadsorción del metal cadmio (II) de aguas residuales industriales, utilizando algas marinas marrones [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In *Universidad Nacional de San Agustín*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11146>
- Auad, P., Spier, F., & Gutterres, M. (2020). Vegetable tannin composition and its association with the leather tanning effect. *Chemical Engineering Communications*, 207(5), 722–732. <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1618843>
- Aydin, F. A., & Soylak, M. (2009). Thulium hydroxide: A new coprecipitant for speciation of chromium in natural water samples. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2–3), 1228–1232. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2008.06.011>
- Azad, M. S., Kour, K., & Preeti, P. (2023). O-005 Tanin rich tree leaves as feed supplements for Sheep of Reasi district in India. *Animal - Science Proceedings*, 14(1), 57. <https://doi.org/10.1016/J.ANSCIP.2023.01.081>
- Bacelo, H. A. M., Santos, S. C. R., & Botelho, C. M. S. (2016). Tannin-based biosorbents for environmental applications - A review. *Chemical Engineering Journal*, 303, 575–587. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.044>
- Bai, S., & Abraham, E. (2001). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Bioresource Technology*, 79(1), 73–81. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00107-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00107-3)
- Baig, M. A., Mehmood, B., & Matin, A. (2003). Removal of chromium from industrial effluent by sand filtration. *Electronic Journal of Environmental Agricultural and*

Food Chemistry, 2(3), 374–379.

- Batool, F., Mohyuddin, A., Amjad, A., ul Hassan, A., Nadeem, S., Javed, M., Hafiz Dzarfan Othman, M., Wayne Chew, K., Rauf, A., & Kurniawan, T. A. (2023). Removal of Cd(II) and Pb(II) from synthetic wastewater using Rosa damascena waste as a biosorbent: An insight into adsorption mechanisms, kinetics, and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Science*, 280(May), 119072. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.119072>
- Bhattacharya, A., & Venkobachar, C. (1984). Removal of Cadmium (II) by Low Cost Adsorbents. *Journal of Environmental Engineering*, 110(1), 110–122. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1984\)110:1\(110\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1984)110:1(110))
- Božić, D., Stanković, V., Gorgievski, M., Bogdanović, G., & Kovačević, R. (2009). Adsorption of heavy metal ions by sawdust of deciduous trees. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1–3), 684–692. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.055>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Camones, I., Fuertes, C., Jurado, B., Mondragon, I., & Taype, E. (2010). Cuantificación de taninos condensados en *Triplaris americana* L. (Tangarana colorada). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 76(2), 138–148. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Chabaane, L., Tahiri, S., Albizane, A., Krati, M. El, Cervera, M. L., & de la Guardia, M. (2011). Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 310–317. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2011.09.037>
- Chang, Y., Wen, J., Cai, J., Xiao-ying, W., Yang, L., & Guo, Y. (2012). An investigation and pathological analysis of two fatal cases of cadmium poisoning. *Forensic Science International*, 220(1–3), e5–e8.

<https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2012.01.032>

- Chu, K. H., & Hashim, M. A. (2007). Copper biosorption on immobilized seaweed biomass: Column breakthrough characteristics. *Journal of Environmental Sciences*, 19(8), 928–932. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60153-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60153-3)
- Cuetocue, M., Sarria, R., Gallo, J., & Benítez, R. (2020). Optimización del proceso de obtención de un adsorbente natural a partir de corteza de pino. *Revista ION*. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020005>
- Cui, J., Wang, Z., Liu, F., Dai, P., Chen, R., & Zhou, H. (2013). Preparation of Persimmon Tannins Immobilized on Collagen Adsorbent and Research on its Adsorption to Cr(VI). *Materials Science Forum*, 743–744, 523–530. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.743-744.523>
- Dávila, N. (2012). *Caracterización del proceso de biosorción de metales pesados mediante residuos sólidos de café* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/2728>
- Davis, T. A., Volesky, B., & Mucci, A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, 37(18), 4311–4330. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00293-8)
- Devaprasath, P., Solomon, J., & Thomas, B. (2007). REMOVAL OF Cr (VI) FROM AQUEOUS SOLUTION USING NATURAL PLANT MATERIAL. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 2(3), 77–83. <https://www.researchgate.net/publication/43993020>
- Dianati, T., & Ali, R. (2004). Study on removal of cadmium from water environment by adsorption on GAC, BAC and biofilter. *Pak. J. Biol. Sci*, 7, 865–869. <https://doi.org/doi=pjbs.2004.865.869>
- Echavarría, B. Z., Franco, A. S., & Martínez, A. M. (2009). Antioxidant activity evaluation and phenolic compound content determination of seaweeds extracts from the colombian caribbean. *REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA*, 16(1), 126–131. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042009000100015&script=sci_abstract&tlng=es

- Faisal, A. A. H., Taha, D. S., Hassan, W. H., Lakhera, S. K., Ansar, S., & Pradhan, S. (2023). Subsurface flow constructed wetlands for treating of simulated cadmium ions-wastewater with presence of *Canna indica* and *Typha domingensis*. *Chemosphere*, 338, 139469. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.139469>
- Fakhri, V., Jafari, A., Layaei Vahed, F., Su, C.-H., & Pirouzfard, V. (2023). Polysaccharides as eco-friendly bio-adsorbents for wastewater remediation: Current state and future perspective. *Journal of Water Process Engineering*, 54, 103980. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.103980>
- Fei, Y., & Hu, Y. H. (2023). Recent progress in removal of heavy metals from wastewater: A comprehensive review. *Chemosphere*, 335, 139077. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.139077>
- Fu, Y., Kong, Y., Wang, Y., Cao, Y., Zhong, S., Xu, M., Lei, T., & Huang, J. (2023). Phenolic hydroxyl functionalized hyper-crosslinked polymers and their efficient adsorption. *Separation and Purification Technology*, 318, 123817. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2023.123817>
- Gao, H. (2022). Method of improving the conversion of Cadmium-containing plant biomass energy under the background of soil pollution. *Energy Reports*, 8, 10803–10811. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.08.173>
- Ghosh, S., Selvakumar, G., Kennedy Ajilda, A. A., & Webster, T. J. (2021). Microbial biosorbents for heavy metal removal. *New Trends in Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater*, 213–262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822965-1.00010-6>
- Godt, J., Scheidig, F., Grosse-siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., & Groneberg, D. A. (2006). *Journal of Occupational Medicine The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health*. 6, 1–6. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>
- Gonçalves, F. G., Chaves, I. L. S., Vargas Fassarella, M., Brito, A. S., da Silva, É. S. G., López, Y. M., & de Oliveira, R. E. G. (2021). Extracción de taninos de la corteza de *Pinus* spp tratada térmicamente – aplicación como adhesivo. *Madera y*

- Bosques*, 27(1), 1–9. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712041>
- Hawari, A., & Mulligan, C. (2006). Biosorption of lead(II), cadmium(II), copper(II) and nickel(II) by anaerobic granular biomass. *Bioresource Technology*, 97(4), 692–700. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.033>
- Hidalgo, S. (2004). *Reutilización de residuos de rapa para la eliminación de metales tóxicos en efluentes líquidos* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3673>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (2003). Sorption of dyes and copper ions onto biosorbents. *Process Biochemistry*, 38(7), 1047–1061. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00239-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00239-X)
- Isaza, J. H. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia Et Technica*, XIII(33), 13–18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903303>
- Islam, M. A., Angove, M. J., & Morton, D. W. (2019). Recent innovative research on chromium (VI) adsorption mechanism. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 12(August), 100267. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100267>
- Issaoui, H., Sallem, F., Lafaille, J., Grassl, B., & Charrier–El Bouhtoury, F. (2021). Biosorption of Heavy Metals from Water onto Phenolic Foams Based on Tannins and Lignin Alkaline Liquor. *International Journal of Environmental Research*, 15(2), 369–381. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00313-5>
- Jin, X., Liu, Y., Tan, J., Owens, G., & Chen, Z. (2018). Removal of Cr(VI) from aqueous solutions via reduction and absorption by green synthesized iron nanoparticles. *Journal of Cleaner Production*, 176, 929–936. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.026>
- Jin, Z., Deng, S., Wen, Y., Jin, Y., Pan, L., Zhang, Y., Black, T., Jones, K. C., Zhang, H., & Zhang, D. (2019). Application of *Simplicillium chinense* for Cd and Pb biosorption and enhancing heavy metal phytoremediation of soils. *Science of the Total Environment*, 697, 134148. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134148>
- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*,

- January 2006, 110–120. http://www.beisa.dk/Publications/BEISA_Book_pdf/Capitulo_07.pdf
- Kessler, M., & Schmidt, A. N. (2006). Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms Diversity and Evolution*, 6(1), 67–69. <https://doi.org/10.1016/j.ode.2005.04.001>
- Kim, H., Kim, K., Chang, Y., Lee, S., & Yang, J. (2012). Heavy metal removal from aqueous solution by tannins immobilized on collagen. *Desalination and Water Treatment*, 48(1–3), 1–8. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.698517>
- Kim, Y., & Nakano, Y. (2005). Adsorption mechanism of palladium by redox within condensed-tannin gel. *Water Research*, 39(7), 1324–1330. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.036>
- Kim, Y., Ogata, T., & Nakano, Y. (2007). Kinetic analysis of palladium(II) adsorption process on condensed-tannin gel based on redox reaction models. *Water Research*, 41(14), 3043–3050. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2007.02.016>
- Kratochvil, D., Pimentel, P., & Volesky, B. (1998). Removal of trivalent and hexavalent chromium by seaweed biosorbent. *Environmental Science & Technology*, 32(18), 2693–2698. <https://doi.org/10.1021/ES971073U>
- Krishnani, K. K., Choudhary, K., Boddu, V. M., Moon, D. H., & Meng, X. (2021). Heavy metals biosorption mechanism of partially delignified products derived from mango (*Mangifera indica*) and guava (*Psidium guaiacum*) barks. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 32891–32904. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12874-1>
- Lazić, Z. R. (2006). *Design of experiments in chemical engineering : a practical guide*. 610. <https://www.wiley.com/en-au/Design+of+Experiments+in+Chemical+Engineering%3A+A+Practical+Guide-p-9783527311422>
- Léonard, A., & Lauwerys, R. (1980). Carcinogenicity and mutagenicity of chromium. *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*, 76(3), 227–239. [https://doi.org/10.1016/0165-1110\(80\)90018-4](https://doi.org/10.1016/0165-1110(80)90018-4)

- Li, W., Tang, Y., Zeng, Y., Tong, Z., Liang, D., & Cui, W. (2012). Adsorption behavior of Cr(VI) ions on tannin-immobilized activated clay. *Chemical Engineering Journal*, 193–194, 88–95. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2012.03.084>
- Liao, X., Zhang, M., & Shi, B. (2004). Collagen-Fiber-Immobilized Tannins and Their Adsorption of Au(III). *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43(9), 2222–2227. <https://doi.org/10.1021/IE0340894>
- Lima, L., Olivares, S., Martínez, F., Torres, J., De La Rosa, D., & Sepúlveda, C. (1998). Use of immobilized tannin adsorbent for removal of Cr(VI) from water. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 231(1–2), 35–40. <https://doi.org/10.1007/BF02388001>
- M. Salem, N., M. Farhan, A., & M. Awwad, A. (2012). Biosorption of Cadmium (II) from Aqueous Solutions by *Prunus Avium* Leaves. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(5), 123–127. <https://doi.org/10.5923/j.ajee.20120205.02>
- Mack, C., Wilhelmi, B., Duncan, J. R., & Burgess, J. E. (2007). Biosorption of precious metals. *Biotechnology Advances*, 25(3), 264–271. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2007.01.003>
- Madala, S., Nadavala, S. K., Vudagandla, S., Boddu, V. M., & Abburi, K. (2017). Equilibrium, kinetics and thermodynamics of Cadmium (II) biosorption on to composite chitosan biosorbent. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1883–S1893. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2013.07.017>
- Mahmoud, M. E. (2015). Water treatment of hexavalent chromium by gelatin-impregnated-yeast (Gel-Yst) biosorbent. *Journal of Environmental Management*, 147, 264–270. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2014.08.022>
- Mahvi, A. H., Nouri, J., Omrani, G., & Gholami-Borujeni, F. (2007). Application of *Platanus orientalis* Leaves in Removal of Cadmium from Aqueous Solution. *World Applied Sciences Journal*, 2(1), 40–44. <https://www.researchgate.net/publication/242293378>
- Maity, J. P., Chen, Y. P., Promsri, J., Huang, Y. H., Sharma, R. K., Chen, Y. H., Lin, P. Y., Tangwattanachuleeporn, M., Poolpol, K., Chen, T. H., & Chen, C. Y. (2023). Ecofriendly removal of Lead, Cadmium and Arsenic along with turbidity from

- contaminated water using natural reservoir clay (NRC) and *S. pasteurii* derived urease. *Desalination*, 556, 116522.
<https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2023.116522>
- Mala, G., Unni, B., & Puvanakrishnan, R. (2006). Bioaccumulation and biosorption of chromium by *Aspergillus niger* MTCC 2594. *Journal of General and Applied Microbiology*, 52(3), 179–186. <https://doi.org/10.2323/JGAM.52.179>
- Maldonado-Farfán, A. R., Fernández-Bernaola, U. R., Salas-Cernades, H. A., Guillén-Zevallos, M. O., & Medrano-Meza, E. (2021). Modelación de la Adsorción de Cromo (III) de Soluciones Acuósas Usando Biomasa Residual de Yuca en Columnas de Lecho Fijo. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2021-July*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.581>
- Martínez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., & Poch, J. (2006). Removal of lead(II) and cadmium(II) from aqueous solutions using grape stalk waste. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 203–211. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2005.10.030>
- Martínez, M., & Moreno, C. (2005). *Valoración del residuo de rapa de uva como bioadsorbente para la eliminación de cadmio de efluentes acuósos* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3126>
- Meethale, P., & Thirumalaisamy, S. (2015). Characterization and utilization of tannin extract for the selective adsorption of Ni (II) ions from water. *Journal of Chemistry*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/498359>
- Miranda, N. S. (2017). Biosorción de cromo Cr (VI) de soluciones acuósas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (*Globulus labill*) [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8747>
- Montgomery, D. (2020). *Design and analysis of experiment* (10MA ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://drive.google.com/file/d/1Jgv1JU8p0nQmRR2FAemPsZAMBgt1Bv1M/view>

- Nabizadeh, R., Naddafi, K., Saeedi, R., Mahvi, A. H., Vaezi, F., Yaghmaeian, K., & Nazmara, S. (2005). kinetic and Equilibrium studies of lead and cadmium biosorption from aqueous solutions by sargassum SPP. *J. Environ. Health. Sci. Eng*, 2(3), 159–168. <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/9096>
- Nadia, C., Emna, S., Anouar, N. M., Mariem, L., Bilel, M., Omar, S., Aroud, M., Dorra, A., & Abderazek, H. (2022). Investigation of environmental contamination by cadmium: Determination of the cadmium content in Nerium oleander and Acacia retinodes growing in industrial area. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 34(2), 94–101. <https://doi.org/10.1016/J.TOXAC.2022.02.002>
- Nai, G. A., Filho, M. A. G., Estrella, M. P. S., & Teixeira, L. D. S. (2015). Study of the influence of the ph of water in the initiation of digestive tract injury in cadmium poisoning in rats. *Toxicology Reports*, 2, 1033–1038. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2015.07.012>
- Naik, R., Kumar, M., & Narsaiah, T. (2023). Removal of heavy metals (Cu & Ni) from wastewater using rice husk and orange peel as adsorbents. *Materials Today: Proceedings*, 72, 92–98. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.06.112>
- Nakajima, A., & Baba, Y. (2004). Mechanism of hexavalent chromium adsorption by persimmon tannin gel. *Water Research*, 38(12), 2859–2864. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.04.005>
- Nakano, Y., Takeshita, K., & Tsutsumi, T. (2001). Adsorption mechanism of hexavalent chromium by redox within condensed-tannin gel. *Water Research*, 35(2), 496–500. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00279-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00279-7)
- Navas, A., & Lindhorfer, H. (2003). Geochemical speciation of heavy metals in semiarid soils of the central Ebro Valley (Spain). *Environment International*, 29(1), 61–68. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00146-0)
- Netzahuatl, A. (2010). *Selección y caracterización de un biomaterial capaz de remover cromo hexavalente y cromo total de soluciones acuosas* [Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/6210>
- Paccha Rufasto, C. A., & Paccha Huamani, P. R. (2023). Capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para remover contaminantes de aguas residuales.

- Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e25258.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25258>
- Pacheco, M., Pimentel, J., & Roque, W. (2010). Cinética de la bioadsorción de iones cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 76(3), 279–292.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Palacios, S. . (2010). Estadística Experimental Aplicada a ciencia e ingeniería. In CONCYTEC (Ed.), *Libro* (Ediciones). www.concytec.gob.pe
- Park, D., Yun, Y., Jo, J., & Park, J. (2005). Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Water Research*, 39(4), 533–540.
<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2004.11.002>
- Pawlisz, A. V., Kent, R. A., Schneider, U. A., & Jefferson, C. (1998). Canadian water quality guidelines for chromium. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 12(2), 123–183. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2256\(1997\)12:2%3C123::AID-TOX4%3E3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2256(1997)12:2%3C123::AID-TOX4%3E3.0.CO;2-A)
- Petins, M. M. C., Sarria-Villa, R. A., Benítez, R. B., & Corredor, J. A. G. (2021). Chemical modified tannins from *Pinus patula* bark for selective biosorption of gold in aqueous media. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106162.
<https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.106162>
- Pizzi, A. (2008). Tannins: Major sources, properties and applications. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, January, 179–199.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00008-9>
- Pizzi, A. (2019). Tannins: Prospectives and actual industrial applications. In *Biomolecules* (Vol. 9, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/biom9080344>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1–2), 149–155.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-

22162006000100020&lng=es&nrm=iso&tlng=

- Qulatein, H., & Yilmaz, M. (2023). Preparation of low-cost and non-conventional macroalgae-based biosorbent for fast and effectively selective dye adsorption. *Materials Chemistry and Physics*, 303, 127741. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2023.127741>
- Rabbani, D., Mahmoudkashi, N., Mehdizad, F., & Shaterian, M. (2016). Green approach to wastewater treatment by application of rosa damascena waste as nano-biosorbent. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(1), 121–130. <https://doi.org/10.3923/jest.2016.121.130>
- Rahim, A. A., Rocca, E., Steinmetz, J., Kassim, M. J., Adnan, R., & Sani Ibrahim, M. (2007). Mangrove tannins and their flavanoid monomers as alternative steel corrosion inhibitors in acidic medium. *Corrosion Science*, 49(2), 402–417. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.04.013>
- Renison, D., Morales, L., Cuyckens, G., Sevillano, C., & Cabrera, D. (2018). Ecología y conservación de bosques montanos de Polylepis. Una introduccion al numero especial. *Asociación Argentina de Ecología*, 157–162. <https://doi.org/https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.766>
- Requena, E. J., Morales, M., & Villalba, R. (2020). Dendroclimatological assessment of Polylepis rodolfo-vasquezii: A novel Polylepis species in the Peru highlands. *Dendrochronologia*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125722>
- Revellame, E. D., Fortela, D. L., Sharp, W., Hernandez, R., & Zappi, M. E. (2020). Adsorption kinetic modeling using pseudo-first order and pseudo-second order rate laws: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100032. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2020.100032>
- Rodrigues, L., Sakane, K., Simonetti, E., & Thim, G. (2015). Cr total removal in aqueous solution by PHENOTAN AP based tannin gel (TFC). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 725–733. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.04.006>
- Romera, E., Gonzáles, F., Ballester, A., Blázquez, M., & Muñoz, J. (2007). Equilibrios químicos en bioadsorción. *Revista de Metalurgia*, 43. https://www.researchgate.net/publication/44200307_Equilibrios_quimicos_en_b

ioadsorcion

- Saatloo, N. V., Ebrahiminejad, B., Sadighara, P., Manafi, L., Yazdanfar, N., & Fallahizadeh, S. (2023). Quantification and human health risk assessment of cadmium and lead in wheat flour on the Iranian market by atomic absorption spectrometry. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100438. <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2023.100438>
- Sadegh, N., Haddadi, H., Sadegh, F., & Asfaram, A. (2023). Recent advances and perspectives of tannin-based adsorbents for wastewater pollutants elimination: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 19(June 2022), 100763. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100763>
- Samavati, Z., Samavati, A., Goh, P. S., Fauzi Ismail, A., & Sohaimi Abdullah, M. (2023). A comprehensive review of recent advances in nanofiltration membranes for heavy metal removal from wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 189, 530–571. <https://doi.org/10.1016/J.CHERD.2022.11.042>
- Samrane, K., Latifi, M., Khajouei, M., & Bouhaouss, A. (2023). Comprehensive analysis and relevant developments of cadmium removal technologies in fertilizers industry. *Minerals Engineering*, 201, 108189. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2023.108189>
- Sánchez, J., Beltran, J., & Carmona, C. (2011). Adsorbents from *Schinopsis balansae*: Optimisation of significant variables. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 409–417. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.038>
- Sánchez, J., Beltrán, J., & Gibello, P. (2011). Adsorbent biopolymers from tannin extracts for water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1241–1247. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.022>
- Sánchez, J., González, M., Beltrán, J., Gragera, J., & Salguero, J. (2010). Novel tannin-based adsorbent in removing cationic dye (Methylene Blue) from aqueous solution. Kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1–3), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.008>
- Sarangi, B., & Mishra, S. P. (2023). A glance at the potential of *Artocarpus* genus fruit peels and its derivatives as adsorbent. *Bioresource Technology Reports*, 21,

101363. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2023.101363>

- Schiewer, S., & Volesky, B. (2000). Biosorption Processes for Heavy Metal Removal. *Environmental Microbe-Metal Interactions*, 329–362. <https://doi.org/10.1128/9781555818098.CH14>
- Segovia, M. C., Caiza, J., Kessler, M., Ramsay, P., Boza, T., Renison, D., Quispe, H., Urquiaga, E., Rodriguez, M., Ames, F., Carabajo, A., Cabrera, D., & Romoleroux, K. (2021). ¿Cómo avanzar en la conservación de los bosques de Polylepis y su diversidad biológica? *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 318–326. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1953895>
- Shilowa, P. M., Okoli, B. J., Olaniyan, O. T., Modise, J. S., & Mtunzi, F. (2021). Immobilised tannin: Efficient trap for nickel and lead ions in aqueous solution. *Environmental Challenges*, 3, 100058. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100058>
- Shin, E., Karthikeyan, K., & Tshabalala, M. (2007). Adsorption mechanism of cadmium on juniper bark and wood. *Bioresource Technology*, 98(3), 588–594. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2006.02.024>
- Shin, E., & Rowell, R. (2005). Cadmium ion sorption onto lignocellulosic biosorbent modified by sulfonation: the origin of sorption capacity improvement. *Chemosphere*, 60(8), 1054–1061. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2005.01.017>
- Soto, E., Miranda, R. del C., Sosa, C. A., & Loredó, J. A. (2006). Optimización del Proceso de Remoción de Metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química. *Información Tecnológica*, 17(2), 33–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000200006>
- Suzuki, Y., Sawada, K., & Chihara, K. (2004). Adsorption characteristics of tannin for heavy metals ions. *AICHE*, 9.
- Tarley, C. R. T., & Arruda, M. A. Z. (2004). Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. *Chemosphere*, 54(7), 987–995. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2003.09.001>

- Vásquez, J., Ly, M., Tapia, N., & Maldonado, H. (2001). Biorremediación de metales tóxicos en efluentes mineros aplicando biosorción. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 4(7). <https://doi.org/10.15381/iigeo.v4i7.4651>
- Vieira, R., & Volesky, B. (2000). Biosorption: a solution to pollution? *International Microbiology : The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology*, 3(1), 17–24. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10963329/>
- Volesky, B., Weber, J., & Park, J. M. (2003). Continuous-flow metal biosorption in a regenerable Sargassum column. *Water Research*, 37(2), 297–306. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00282-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00282-8)
- Volesky, Bohumil. (2003). Biosorption process simulation tools. *Hydrometallurgy*, 71(1–2), 179–190. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(03\)00155-5](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00155-5)
- Wang, F. Y., Wang, H., & Ma, J. W. (2010). Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent-Bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1–3), 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.032>
- Wattanakornsiri, A., Rattanawan, P., Sanmueng, T., Satchawan, S., Jammongkan, T., & Phuengphai, P. (2022). Local fruit peel biosorbents for lead(II) and cadmium(II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42, 306–317. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2022.09.008>
- Xu, Q., Wang, Y., Jin, L., Wang, Y., & Qin, M. (2017). Adsorption of Cu (II), Pb (II) and Cr (VI) from aqueous solutions using black wattle tannin-immobilized nanocellulose. *Journal of Hazardous Materials*, 339, 91–99. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2017.06.005>
- Yi, Q., Fan, R., Xie, F., Min, H., Zhang, Q., & Luo, Z. (2016). Selective Recovery of Au(III) and Pd(II) from Waste PCBs Using Ethylenediamine Modified Persimmon Tannin Adsorbent. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 185–194. <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2016.02.025>
- Yurtsever, M., & Şengil, I. A. (2009). Biosorption of Pb(II) ions by modified quebracho tannin resin. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 58–64.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.077>

- Zhang, R., & Tian, Y. (2020). Characteristics of natural biopolymers and their derivative as sorbents for chromium adsorption: a review. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00038-9>
- Zhang, S., Liu, C., Yuan, Y., Fan, M., Zhang, D., Wang, D., & Xu, Y. (2020). Selective, highly efficient extraction of Cr(III), Pb(II) and Fe(III) from complex water environment with a tea residue derived porous gel adsorbent. *Bioresource Technology*, 311, 123520. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123520>
- Zhou, P., Yuan, H., Ou, L., & Zhiyuan, P. (2019). Removal of Cd(II) and Cu(II) ions from aqueous solutions using tannin-phenolic polymer immobilized on cellulose. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 56(7), 717–722. <https://doi.org/10.1080/10601325.2019.1601496>
- Zhu, Y. H., Zhang, Q., Sun, G. T., Chen, C. Z., Zhu, M. Q., & Huang, X. H. (2022). The synthesis of tannin-based graphene aerogel by hydrothermal treatment for removal of heavy metal ions. *Industrial Crops and Products*, 176, 114304. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.114304>
- Zou, L., Shao, P., Zhang, K., Yang, L., You, D., Shi, H., Pavlostathis, S. G., Lai, W., Liang, D., & Luo, X. (2019). Tannic acid-based adsorbent with superior selectivity for lead(II) capture: Adsorption site and selective mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 364(December 2018), 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.160>
- Zou, M., Zhou, S., Zhou, Y., Jia, Z., Guo, T., & Wang, J. (2021). Cadmium pollution of soil-rice ecosystems in rice cultivation dominated regions in China: A review. *Environmental Pollution*, 280, 116965. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.116965>
- Zutta, B. R., Rundel, P. W., Saatchi, S., Casana, J. D., Gauthier, P., Soto, A., Velazco, Y., & Buermann, W. (2012). Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Revista Peruana de Biología*, 19(2), 205–212. <https://doi.org/10.15381/rpb.v19i2.849>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Interrogantes Específicas	Hipótesis Específicas	Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Métodos	Pruebas Estadísticas
1. ¿Cómo se puede extraer y caracterizar el gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>)?	1. Con la extracción y caracterización del gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>), se obtendrá un eficiente material bioadsorbente.	1. Obtener bioadsorbente extracción de caracterización de tánico de corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>).	Variables Independientes: 1. pH Temperatura (°C)	1. Presencia de iones H ⁺ 2. Temperatura del medio.	1. Extracción y caracterización del gel tánico de la corteza de queñua. 2. Determinación de la capacidad de bioadsorción de los iones Cr (VI) y Cd (II).	En el diseño central compuesto de Box Behncken se realizará la aplicación del paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XVIII. 1. Análisis de varianza (ANOVA). 2. Ecuación del modelo de segundo orden. 3. Gráfica de contorno y de superficie de respuesta. 4. Resultado de las variables óptimas.
2. ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II)?	2. Con la evaluación de las isothermas de adsorción y con los modelos cinéticos se determinará la capacidad de bioadsorción que tienen el gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas.	2. -Determinar la capacidad de bioadsorción que tiene el gel tánico de la corteza de queñua (<i>Polylepis spp</i>) para adsorber los iones cromo (VI) y cadmio (II) de soluciones acuosas.	Variable Dependiente: 1. Porcentaje de bioadsorción de Cr (VI) (%) 2. Porcentaje de bioadsorción de Cd (II) (%)	1. Cantidad de Cr adsorbido por gel tánico. 2. Cantidad de Cd adsorbido por gel tánico.	3. Evaluación del pH y la temperatura para determinar el porcentaje de bioadsorción de los iones Cr (VI) y Cd (II).	
3. ¿La evaluación del pH y la temperatura en un diseño experimental determinará el porcentaje de bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II)?	3. Con la evaluación del pH y la temperatura en un diseño central compuesto de Box Behncken, se determinará el porcentaje de bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II).	3. Evaluar el pH y la temperatura en un diseño experimental que determine el porcentaje de bioadsorción de los iones cromo (VI) y cadmio (II).	Variables Intervinientes: 1. Volumen de muestra (50 mL) 2. Cantidad de adsorbente (1 g)	1. Volumen de la solución acuosa. 2. Cantidad del gel tánico		

Anexo 2. Resultados experimentales de bioadsorción de del gel tánico para Cr(VI) y Cd(II)

Los resultados experimentados se llevaron a cabo en los Laboratorios del Sur (LAS) en la ciudad de Arequipa y se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 59

Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=4

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cr(VI)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cr (VI) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cr(VI)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cr (VI) adsorbido mg/g de gel tánico
1	10.025	100	50	5	62.510	17.102
2	10.095	100	50	10	0.690	491.878
3	10.062	100	50	15	30.425	34.573
4	10.006	100	50	20	22.605	38.674
5	10.004	100	50	25	4.945	4.7508
6	10.006	100	50	30	40.82	29.572
7	10.025	100	50	40	44.586	2.7638
8	10.004	100	50	60	61.890	19.048

Tabla 60

Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=2

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cr(VI)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cr (VI) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cr(VI)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cr (VI) adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0063	100	50	5	0,15	49,612
2	1.0036	100	50	10	23,54	38,093
3	1.0044	100	50	15	1,06	49,252
4	1.0090	100	50	20	0,005	49,552
5	1.0008	100	50	25	1,025	49,448
6	1.0045	100	50	30	1,135	49,211
7	1.0049	100	50	40	13,045	43,265
8	1.0062	100	50	60	1,22	49,085

Tabla 61

Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 20°C, pH=4

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cr(VI)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cr (VI) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cr(VI)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cr (VI) adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0007	100	50	5	36.00	31.977
2	1.0013	100	50	10	88.80	0.5593
3	1.0017	100	50	15	84.00	0.7986
4	1.0003	100	50	20	74.30	12.846
5	1.0001	100	50	25	28.50	35.746
6	1.0005	100	50	30	14.51	42.724
7	1.0002	100	50	40	6.54	46.721
8	1.0003	100	50	60	22.70	38.638

Tabla 62

Capacidad de bioadsorción de Cr (VI) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 20°C, pH=2

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cr(VI)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cr (VI) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cr(VI)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cr adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0024	100	50	5	0.005	49.878
2	1.0004	100	50	10	1.95	49.006
3	1.0011	100	50	15	1.43	49.236
4	1.0012	100	50	20	1.715	49.084
5	1.0005	100	50	25	0.005	49.973
6	1.0007	100	50	30	0.005	49.963
7	1.0012	100	50	40	0.005	49.938
8	1.0012	100	50	60	0.005	49.938

Tabla 63

Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=2

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cd(II)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cd (II) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cd(II)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cd (II) adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0025	100	50	5	85.2	0.7382
2	1.0066	100	50	10	84.4	0.7749
3	1.0031	100	50	15	76.8	11.564
4	1.0006	100	50	20	70.8	14.591
5	1.0028	100	50	25	75.6	12.166
6	1.0023	100	50	30	77.6	11.174
7	1.0036	100	50	40	76.8	11.558
8	1.0023	100	50	60	77.6	11.174

Tabla 64

Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 40°C, pH=4

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cd(II)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cd (II) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cd(II)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cd (II) adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0032	100	50	5	8.36	45.674
2	1.0002	100	50	10	0.507	49.737
3	1.0037	100	50	15	0.345	49.644
4	1.0009	100	50	20	0.264	49.823
5	1.0059	100	50	25	0.261	49.577
6	1.0003	100	50	30	0.273	49.849
7	1.0042	100	50	40	0.278	49.652
8	1.0028	100	50	60	0.261	49.730

Tabla 65

Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua (Polylepis spp). Temperatura 20°C pH=2

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cd(II)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cd (II) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cd(II)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cd (II) adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0044	100	50	5	98.37	0.0811
2	1.0029	100	50	10	92.51	0.3734
3	1.0008	100	50	15	94.99	0.2503
4	1.0050	100	50	20	87.35	0.6325
5	1.0068	100	50	25	93.36	0.3298
6	1.0015	100	50	30	87.87	0.6056
7	1.0041	100	50	40	86.60	0.6673
8	1.0022	100	50	60	84.76	0.7603

Tabla 66

*Capacidad de bioadsorción de Cd (II) con bioadsorbente gel tánico de queñua
(Polylepis spp) Temperatura 20°C, pH=4*

Muestra	Gel Tánico (g/L)	[Cd(II)] Inicial (mg/L)	Volumen de solución de Cd (II) (mL)	Tiempo de agitación (min)	[Cd(II)] En el equilibrio (mg/L)	Cantidad de Cd adsorbido mg/g de gel tánico
1	1.0024	100	50	5	66,42	16.749
2	1.0018	100	50	10	15,26	42.294
3	1.0020	100	50	15	51,31	24.299
4	1.0019	100	50	20	29,38	35.243
5	1.0021	100	50	25	59,98	19.968
6	1.0019	100	50	30	43,19	28.851
7	1.0022	100	50	40	10,28	44.761
8	1.0015	100	50	60	24,56	37.634

Anexo 3. Caracterización de la corteza de queñua molida



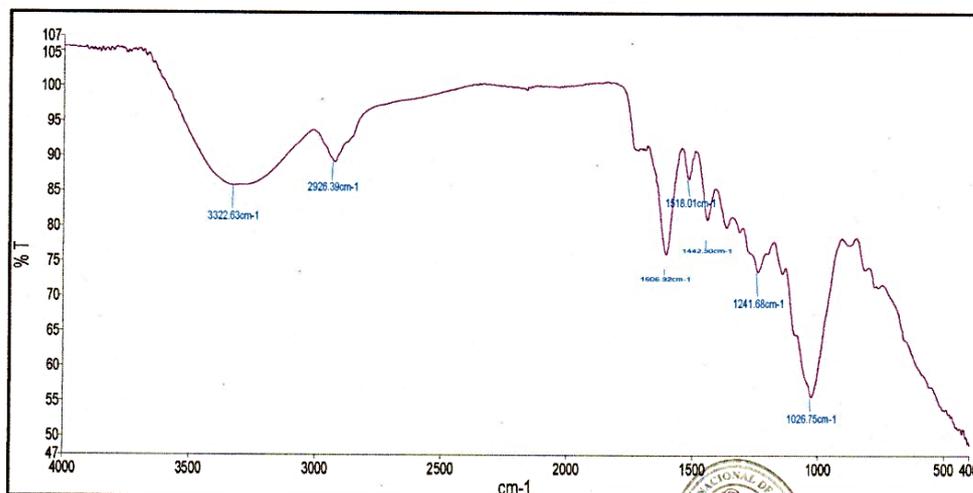
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 1771 - 18 - LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 SOLICITANTE : HIGINIO ALBERTOZUÑIGA SANCHEZ
 - 1.2 DNI : 29288248
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 27 / 09 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 09 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 28 / 09 / 2018
3. SERVICIO SOLICITADO : ANÁLISIS ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE MOLIENDA DE CORTEZA DE QUEÑUA (POLILEPIS INCANA)
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 19.3 °C; Humedad relativa: 66%
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro Infrarrojo PERKIN-ELMER, Frontier
8. RESULTADOS

8.1 ESPECTRO INFRARROJO DE LA MUESTRA DE CORTEZA DE QUEÑUA MOLIDA



Anexo 4. Caracterización del extracto de corteza de queñua

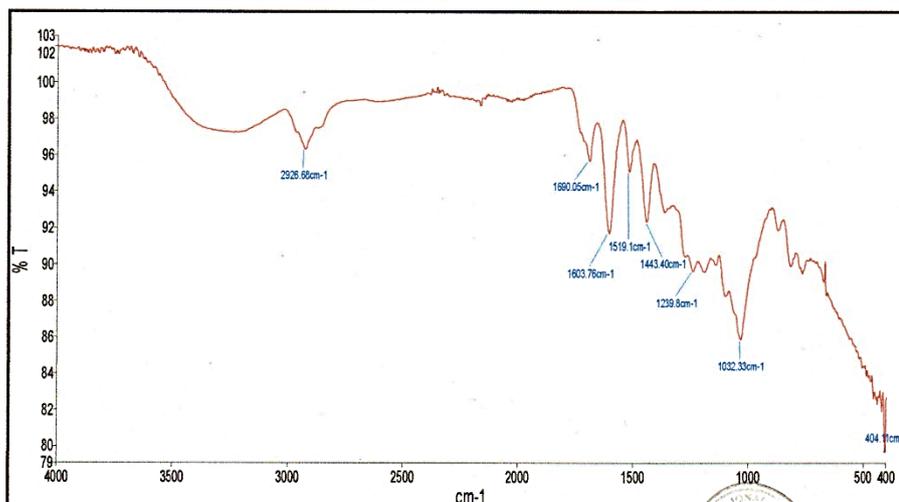


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 1773 – 18 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 SOLICITANTE : HIGINIO ALBERTOZUÑIGA SANCHEZ
 - 1.2 DNI : 29288248
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 27 / 09 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 09 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 28 / 09 / 2018
3. **SERVICIO SOLICITADO** : ANÁLISIS ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE EXTRACTO DE CORTEZA DE QUEÑUA (POLILEPIS INCANA)
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 19.3 °C; Humedad relativa: 66%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro Infrarrojo PERKIN-ELMER, Frontier
8. **RESULTADOS**
 - 8.1 **ESPECTRO INFRARROJO DE LA MUESTRA DE EXTRACTO DE CORTEZA DE QUEÑUA**



Anexo 5. Análisis de los ensayos de Cr (VI)



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00108

Fecha de emisión: 08/03/2019

Página 1 de 2

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 01/03/2019
Realización: 01/03/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*929 Método de Ensayo para Cromo VI por fotometría
*983 Método de Ensayo para Cromo por ICP/OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*929	*983
				Cr VI mg/L	Cr mg/L
SS19000227	M-1 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	62,51	83,06
SS19000228	M-2 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	0,69	29,73
SS19000229	M-3 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	30,425	48,865
SS19000230	M-4 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	22,605	39,345
SS19000231	M-5 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	4,945	23,07
SS19000232	M-6 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	40,82	81,785
SS19000233	M-7 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	44,585	81,745
SS19000234	M-8 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	61,89	93,535
SS19000235	M-1 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	0,15	25,765
SS19000236	M-2 PH:4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	23,54	39,31
SS19000237	M-3 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	1,6	30,76
SS19000238	M-4 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	b<0,005	21,495
SS19000239	M-5 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	1,025	25,45
SS19000240	M-6 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	1,135	27,27

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 9771



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00108

Fecha de emisión: 08/03/2019

Página 2 de 2

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*929	*983
				Cr VI mg/L	Cr mg/L
SS19000241	M-7 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	13,045	15,775
SS19000242	M-8 PH:2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 40°C / Vol:50ml f. 26-02-19	UNA PUNO	Solucion Ácida	1,22	14,24

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

">Valor numérico" = Límite de detección del método, "<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 9772



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00124

Fecha de emisión: 16/03/2019

Página 1 de 2

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 08/03/2019
Realización: 08/03/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*929 Método de Ensayo para Cromo VI por fotometría

*983 Método de Ensayo para Cromo por ICP/OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*929	*983
				Cr VI mg/L	Cr mg/L
SS19000300	M-1 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	93,68	140,64
SS19000301	M-2 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	90,14	134,77
SS19000302	M-3 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	91,99	135,225
SS19000303	M-4 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	80,74	132,265
SS19000304	M-5 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	65,18	108,68
SS19000305	M-6 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	55,345	100,7
SS19000306	M-7 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	46,775	83,745
SS19000307	M-8 PH.4 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 05-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	46,105	85,75
SS19000308	M-1 PH.2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	^b <0,005	14,71
SS19000309	M-2 PH.2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	1,95	14,9
SS19000310	M-3 PH.2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	1,43	12,23
SS19000311	M-4 PH.2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	1,715	12,91
SS19000312	M-5 PH.2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	^b <0,005	14,06
SS19000313	M-6 PH.2 / Absorbente:tanigel queñua / Sol: CrVI / Temp. 20°C / Vol:50ml F: 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	^b <0,005	9,485

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Óscar A. Juárez Soto

Gerente de Operaciones

Reg. MTC N° 114426

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de Cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas de producto como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 9792



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

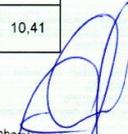
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00124

Fecha de emisión: 16/03/2019

Página 2 de 2

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*929	*983
				Cr VI mg/L	Cr mg/L
SS19000314	M-7 PH:2 / Absorbente tanigel quefusa / Sol: CrVI / Temp: 20°C / Vol:50ml F. 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	b<0,005	8,925
SS19000315	M-8 PH:2 / Absorbente tanigel quefusa / Sol: CrVI / Temp: 20°C / Vol:50ml F. 07-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	b<0,005	10,41


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniería Química CIP 114426

⁹³<Valor numérico> = Límite de detección del método, ⁹⁴<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 9793



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00303

Fecha de emisión: 22/06/2019

Página 1 de 1

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 13/06/2019
Realización: 13/06/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra
Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Métodos ensayados

*929 Método de Ensayo para Cromo VI por fotometría

*983 Método de Ensayo para Cromo por ICP/OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*929	*983
				Cr VI mg/L	Cr mg/L
SS19000750	M- 1 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	36,0	40,06
SS19000751	M- 2 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	88,8	94,60
SS19000752	M- 3 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	84,0	91,21
SS19000753	M- 4 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	74,3	79,50
SS19000754	M- 5 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	28,5	43,25
SS19000755	M- 6 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	14,51	30,23
SS19000756	M- 7 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	6,54	23,04
SS19000757	M- 8 T:20°C PH:4 CONC. 100mg/l F:10/06/19 ADSORBENTE:TANIGEL QUEÑUA	UNA - PUNO	Solucion Ácida	22,7	41,73

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicencio Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I. 19474

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 12748

Anexo 6. Análisis de los ensayos de Cd (II)



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00134

Fecha de emisión: 21/03/2019

Página 1 de 1

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 16/03/2019
Realización: 16/03/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*4036 Método de Ensayo para Cadmio por ICP -OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4036 Cd mg/L
SS19000356	M-1 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	61,3
SS19000357	M-2 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	88,6
SS19000358	M-3 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	96,7
SS19000359	M-4 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	109,6
SS19000360	M-5 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	110,0
SS19000361	M-6 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	110,5
SS19000362	M-7 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	106,8
SS19000363	M-8 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	110,2
SS19000364	M-1 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	8,36
SS19000365	M-2 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,507
SS19000366	M-3 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,345
SS19000367	M-4 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,264
SS19000368	M-5 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,261
SS19000369	M-6 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,273
SS19000370	M-7 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,278
SS19000371	M-8 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 40°C / Vol: 50ml F: 15-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	0,281

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIR. 114426

^m<Valor numérico> = Limite de detección del método, ⁿ<Valor Numérico> = Limite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 10226



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00145

Fecha de emisión: 28/03/2019

Página 1 de 1

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 23/03/2019
Realización: 23/03/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*4036 Método de Ensayo para Cadmio por ICP-OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4036
				Cd mg/L
SS19000415	M-1 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	98,37
SS19000416	M-2 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	92,51
SS19000417	M-3 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	94,99
SS19000418	M-4 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	87,35
SS19000419	M-5 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	93,36
SS19000420	M-6 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	87,87
SS19000421	M-7 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	86,60
SS19000422	M-8 PH.2 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	84,76

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

^o<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^o<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 10394



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00146

Fecha de emisión: 28/03/2019

Página 1 de 1

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 23/03/2019
Realización: 23/03/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*4036 Método de Ensayo para Cadmio por ICP -OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4036
				Cd mg/L
SS19000423	M-1 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	66,42
SS19000424	M-2 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	15,26
SS19000425	M-3 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	51,31
SS19000426	M-4 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	29,38
SS19000427	M-5 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	59,98
SS19000428	M-6 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	43,19
SS19000429	M-7 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	10,28
SS19000430	M-8 PH.4 / Absorbente: tanigel queñua / Sol: Cd II / Temp. 20°C / Vol: 50ml F: 21-03-19	UNA - PUNO	Solucion Ácida	24,56

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 10393



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00270

Fecha de emisión: 03/06/2019

Página 1 de 1

Señores: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Dirección: JR. CAPITAN MORANTE 195 PISO 4 - PUNO
Atención: ZUÑIGA SANCHEZ HIGINIO ALBERTO
Recepción: 31/05/2019
Realización: 31/05/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Métodos ensayados

*4036 Método de Ensayo para Cadmio por ICP -OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*4036 Cd mg/L
SS19000687	M-1 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	85,2
SS19000688	M-2 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	84,4
SS19000689	M-3 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	76,8
SS19000690	M-4 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	70,8
SS19000691	M-5 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	75,6
SS19000692	M-6 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	77,6
SS19000693	M-7 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	76,8
SS19000694	M-8 C=100 mg/L F:30-05-2019 PH=2 T=40°C ADSORBENTE = TANIGEL QUENUA VOL=50ml SOL- Cd(II)	UNA - PUNO	Solucion Ácida	77,6

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 12088

Anexo 7. Normas Legales de los Estándares de la Calidad Ambiental del Agua

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la 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, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóxicos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua 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.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

14

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₄₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)		1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3,28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CA Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CA Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO_3^- -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO_2^- -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₂)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICOS				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieltodrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrín	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminths	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Anexo 8. Fotos del proceso de bioadsorción de Cr (VI) y Cd (II)

Figura 32.

Laminas de la corteza del arbol de queñua (Polylepis spp)



Figura 33.

Gel tánico de la corteza de queñua (Polylepis spp)



Figura 34.

Bioadsorción de Cr (VI) (izquierdo) y Cd (II) (derecho)



Figura 35.

Filtración de muestras de Cr (VI) (izquierdo) y Cd (II) (derecho)



Figura 36.

Muestras envasadas para el análisis del Cr (VI)



Figura 37.

Muestras envasadas para el análisis del Cd (II)





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **HIGINIO ALBERTO ZUÑIGA SANCHEZ** identificado(a) con N° DNI: **29288248** en mi condición de egresado(a) del:

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

con código de matrícula N° 060730, informo que he elaborado la tesis denominada:

“BIOADSORCIÓN DE IONES CROMO (VI) Y CADMIO (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS CON GEL TANICO DE CORTEZA DE QUEÑUA (*Polylepis spp*)”.

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno, 18 de Julio del 2024.



FIRMA (Obligatorio)



Huella



Universidad Nacional del
Altiplano Puno



Vicerrectorado de
Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo **HIGINIO ALBERTO ZUÑIGA SANCHEZ** identificado(a) con N° DNI: **29288248**, en mi condición de egresado(a) del **Programa de Maestría o Doctorado: DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**, informo que he elaborado la tesis denominada:

“BIOADSORCIÓN DE IONES CROMO (VI) Y CADMIO (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS CON GEL TANICO DE CORTEZA DE QUEÑUA (*Polylepis spp*)”.

para la obtención de **Grado**.

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno, 18 de Julio del 2024.


FIRMA (Obligatorio)



Huella