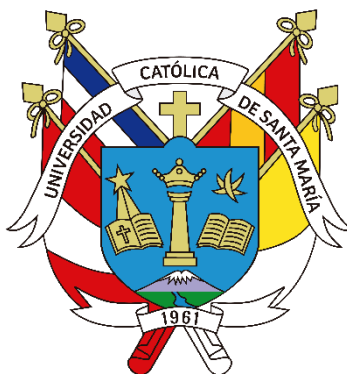


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y**  
**Biotechnológicas**  
**Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica**



**Revisión sistemática de las tesis relacionadas con la biorremediación en  
contaminación con metales pesados publicadas en la Universidad  
Católica de Santa María 2013-2023**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Torres Fuentes, Ana Cecilia**

**ORCID: 0009-0003-2427-4209**

para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico

Asesor (a):

**Mg. Candia Puma Mayron Antonio**

**ORCID: 0000-0002-6328-3840**

**Arequipa - Perú**

**2026**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**FARMACIA Y BIOQUIMICA**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 01 de Agosto del 2025

**Dictamen: 014913-C-EPFyB-2025**

Visto el borrador del expediente 014913, presentado por:

**1998201582 - TORRES FUENTES ANA CECILIA**

Titulado:

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LAS TESIS RELACIONADAS CON LA BIORREMEDIACIÓN EN  
CONTAMINACIÓN CON METALES PESADOS PUBLICADAS EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE  
SANTA MARÍA 2013-2023**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

**29262816 - LOPEZ VALENCIA YENNY CANDELARIA  
DICTAMINADOR**



**29247630 - CORZO SALAS DE VALDIVIA ANGELICA MAGDALENA  
DICTAMINADOR**



**42212200 - DE LA FUENTE TORRES MOCITA HESET LOURDES  
DICTAMINADOR**



# Revisión sistemática de las tesis relacionadas con la biorremediación en contaminación con metales pesados publicadas en la Universidad Católica de Santa María 2013-2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>9%</b>
<b>2</b>	<b>alicia.concytec.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>bibliotecadigital.oducal.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>core.ac.uk</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>renati.sunedu.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado



### ***DEDICATORIA***

A Dios y su madre, la Virgen María, quienes me acompañaron durante toda esta etapa y me bendijeron con su amor eterno.

A mi padre y a mi madre, quienes me brindaron su apoyo incondicional su amor y paciencia.

A mi hija Alejandra Ximena y a mi hijo Santiago Daniel, por ser mi soporte y la motivación principal para mis aspiraciones.

A todos ellos, muchas gracias

## *AGRADECIMIENTOS*

A mi familia que siempre estuvo conmigo dándome el aliento y energía para no desistir de mis metas, a mi hija Alejandra Ximena y a mi hijo Santiago Daniel, quienes con su existencia me demostraron que no hay límite, para la capacidad humana de persistencia y lucha, a pesar de las dificultades y adversidades, me impulsaron a dedicarles cada logro en mi vida, siempre por ellos.

A mi pequeño Logan, que con su llegada a mi vida me dio la alegría para perseguir mis sueños.

A mi padre Luis Torres, por el apoyo constante a lo largo de mi camino, depositando en mi toda su confianza en cada una de mis etapas, y a mi mamá Juana Fuentes ya que gracias a su esfuerzo y constancia, quienes me dieron la capacidad de llegar tan lejos.

Mi gratitud a Antonio José por su incondicional apoyo, las palabras de aliento, su constante motivación, me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles

A todas aquellas personas que me brindaron su paciencia y buen ánimo para guiarme a lo largo de esta investigación y a mi asesor, Mtro. Mayron Antonio Candia Puma, por acompañarme en este desafío y guiarme con paciencia y tenacidad.

A todos muchas gracias.

## RESUMEN

En esta investigación se evaluaron los métodos de biorremediación o biorremoción de metales pesados, utilizando una metodología de análisis sistemático. Primero se realizó la recolección de trabajos de tesis publicados en la Universidad Católica de Santa María (UCSM), correspondientes a la facultad de Ciencias Farmacéuticas Bioquímicas y Biotecnológicas, en el periodo 2013-2023. Se realizó lectura y selección de los trabajos de tesis que cumplieran con estandarizar métodos para remoción a base de especies botánicas o microorganismos, o el mejoramiento u optimización de un método ya existente, las cuales se evaluaron para determinar los métodos con mejores resultados y la mayor eficiencia frente a los metales pesados de mayor problemática; de las cuales se seleccionaron 19 trabajos de tesis que cumplieran con estas características. Siendo que el cromo es uno de los metales con mayor índice de estudios que tienen como objetivo su remoción, y el uso de biorreactores es el método con más enfoque. Se concluyó que tras revisar 19 trabajos, la mayoría fueron publicadas y son parte de la Escuela Profesional de Biotecnología, siendo el año con el mayor número de tesis publicadas durante el año 2018, el metal pesado con el mayor número de estudios y análisis fue el cromo, el origen de muestra con mayor recolección fue hídrica, así mismo, la mayoría de las investigaciones tipo tesis detallan que la metodología más utilizada es el uso de biorreactores junto a consorcio de bacterias, entre los resultados reportados por las tesis revisadas, el mayor porcentaje refirió concluir con la remoción de uno de los metales pesados objetivo.

**Palabras claves:** *Metal pesado, biorremediación, remoción.*

## ABSTRACT

In this research, bioremediation or bioremoval methods for heavy metals were evaluated using a systematic analysis methodology. First, theses published at the Universidad Católica de Santa María (UCSM), corresponding to the Faculty of Pharmaceutical, Biochemical, and Biotechnological Sciences, from the period 2013–2023, were collected. The theses that met the criteria of standardizing methods for removal based on botanical species or microorganisms, or the improvement or optimization of an existing method, were read and selected. These were then evaluated to determine the methods with the best results and the highest efficiency against the most problematic heavy metals. A total of 19 theses meeting these characteristics were selected. It was found that chromium is one of the most frequently studied metals with the objective of its removal, and that the use of bioreactors is the most emphasized method. It was concluded that, after reviewing 19 theses, most were published as part of the Professional School of Biotechnology, with 2018 being the year with the highest number of published theses. The heavy metal with the greatest number of studies and analyses was chromium, and the most frequently collected sample source was water. Likewise, most of the thesis-type investigations indicated that the most used methodology involves the use of bioreactors together with bacterial consortia. Among the results reported by the reviewed theses, the highest percentage concluded with the successful removal of one of the target heavy metals.

**Keywords:** *Heavy metal, bioremediation, removal.*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
1.INTRODUCCIÓN.....	1
2.OBJETIVOS.....	3
i.Objetivo general.....	3
II. Objetivos específicos.....	3
3.CUERPO DE LA REVISION .....	5
3.1 Metales Pesados.....	5
3.1.1 Hierro.....	5
3.1.2 Cadmio.....	7
3.1.3 Plomo.....	7
3.1.4 Cobre.....	8
3.1.5 Arsénico.....	8
3.1.6 Cromo.....	9
3.2 Normativa Regularizadora.....	10
3.3 Biorremediación .....	11
a. Degradación Enzimática .....	12
b. Remediación Microbiana.....	12
c. Fitorremediación .....	13
4. METODOLOGIA.....	14
4.1 Estrategia de Búsqueda.....	14
4.2 Diseño.....	15
5. RESULTADOS.....	16
5.1 Criterios de clasificación.....	16
5.1.1 Tesis publicada por cada escuela profesional .....	16
5.1.2 Año de publicación de tesis.....	17
5.1.3 Metales pesados objetivo.....	17
5.1.4 Método innovador u optimización.....	18
6. DISCUSIONES.....	69
6.1 Análisis de metodología.....	69

6.2 Análisis de agentes para biorremediación.....	69
6.3 Análisis de eficacia .....	70
7. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	75
8. CONCLUSIONES.....	76
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cantidad de tesis publicadas por escuela profesional .....	16
<b>Tabla 2.</b> Cantidad de tesis por año .....	17
<b>Tabla 3.</b> Metales pesados objetivo .....	17
<b>Tabla 3 (Cont).</b> Metales pesados objetivo .....	18
<b>Tabla 4.</b> Método innovador u optimización .....	18
<b>Tabla 5.</b> Metodología utilizada .....	69
<b>Tabla 6.</b> Resultados y conclusiones de las tesis .....	70
<b>Tabla 7.</b> Relación de metales pesados según escuela .....	71
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de tesis según tipo de biorremediación .....	20
<b>Tabla 9.</b> Clasificación por tipo de muestra .....	22
<b>Tabla 10.</b> Clasificación por tipo de biosorbente .....	24
<b>Tabla 11.</b> Cantidad de tesis por tipo de microorganismo .....	24
<b>Tabla 12.</b> Tipos de análisis realizados .....	25
<b>Tabla 13.</b> Variables experimentales .....	26
<b>Tabla 14.</b> Parámetros físico-químicos monitoreados .....	26
<b>Tabla 14 (Cont).</b> Remoción del consorcio en reactor RAEFA-EZ (32).....	27
<b>Tabla 15.</b> Fuentes de contaminación descritas .....	27
<b>Tabla 16.</b> Tesis con evaluación de metales múltiples .....	28
<b>Tabla 17.</b> Tipos de procesos optimizados .....	30
<b>Tabla 17 (Cont).</b> Escala de toxicidad (36).....	31
<b>Tabla 18.</b> Resumen de resultados por año .....	31
<b>Tabla 19.</b> Clasificación según metodología principal .....	33
<b>Tabla 21.</b> Resumen de estudios por tipo de microorganismo .....	34
<b>Tabla 22.</b> Clasificación de tesis con empleo de bacterias reductoras de sulfato .....	37
<b>Tabla 23.</b> Estudios de adsorción con residuos vegetales .....	37
<b>Tabla 24.</b> Estudios de remoción de plomo (Pb) .....	39
<b>Tabla 25.</b> Evaluaciones experimentales con cadmio (Cd) .....	40
<b>Tabla 26.</b> Evaluaciones experimentales con arsénico (As) .....	44
<b>Tabla 27.</b> Comparación de métodos fisicoquímicos y biológicos .....	44
<b>Tabla 28.</b> Análisis comparativo entre biosorbentes .....	54
<b>Tabla 29.</b> Efecto de la dosis de SDP en la adsorción del contaminante .....	54
<b>Tabla 30.</b> Remoción y capacidad de biosorción de Cr(VI) por diferentes tipos de papa ....	56

<b>Tabla 31.</b> Parámetros del experimento .....	61
<b>Tabla 32.</b> Composición de la solución .....	64
<b>Tabla 33.</b> Resultados del análisis de similitud de secuencias 16S rRNA .....	65
<b>Tabla 34.</b> Comparación de cepa 804 con otras secuencias.....	65
<b>Tabla 34 (Cont).</b> Comparación de cepa 804 con otras secuencias.....	66
<b>Tabla 35.</b> Remoción de metales pesados en cultivo celular .....	66
<b>Tabla 36.</b> Caracterización de bacterias sulfatorreductoras .....	68



## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig 1.</b> Facciones de la Biorremediación.....	12
<b>Fig 2.</b> Pasos para la obtención de quitosano (64) .....	19
<b>Fig 3.</b> Potencial del sistema $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ frente a pH (65) .....	19
<b>Fig 4.</b> Quitina obtenida de exoesqueleto de “muy muy” 150 $\mu m$ y 850 $\mu m$ (27).....	19
<b>Fig 5.</b> Adsorción química. Modelo Langmuir (27) .....	19
<b>Fig 6.</b> Proceso general de bioadsorción de metales pesados .....	20
<b>Fig 7.</b> Esquema del biorreactor tipo RAEFA-EZ utilizado .....	21
<b>Fig 8.</b> Ciclo biogeoquímico del hierro .....	21
<b>Fig 9.</b> Diagrama de flujo del procedimiento experimental .....	22
<b>Fig 10.</b> Estructura del grupo funcional de la quitina .....	22
<b>Fig 11.</b> Estructura del grupo amino del quitosano .....	23
<b>Fig 12.</b> Proceso de adsorción de Cr(VI) por biomasa .....	25
<b>Fig 13.</b> Mecanismo de reducción bacteriana de sulfatos .....	25
<b>Fig 14.</b> Ciclo del azufre en medios anaerobios .....	26
<b>Fig 15.</b> Formación de precipitados metálicos .....	28
<b>Fig 16.</b> Curva de calibración de absorbancia vs concentración .....	29
<b>Fig 17.</b> Diagrama del sistema de muestreo de aguas .....	29
<b>Fig 18.</b> Microfotografía de <i>Desulfovibrio</i> spp. ....	30
<b>Fig 19.</b> Esquema de la cámara de cultivo anaerobio .....	32
<b>Fig 20.</b> Proceso de identificación molecular de cepas .....	32
<b>Fig 21.</b> Electroforesis en gel de agarosa de productos de PCR .....	32
<b>Fig 22.</b> Análisis de similitud BLAST de la secuencia 16S rRNA .....	33
<b>Fig 23.</b> Árbol filogenético del gen 16S rRNA para cepas de <i>Desulfovibrio</i> .....	34
<b>Fig 24.</b> Alineamiento múltiple de secuencias 16S rRNA .....	36
<b>Fig 25.</b> Curva de crecimiento bacteriano en medio de cultivo .....	36
<b>Fig 26.</b> Variación del pH durante el proceso de biorremediación .....	36
<b>Fig 27.</b> Variación de la concentración de sulfato a lo largo del tiempo .....	37
<b>Fig 28.</b> Variación de la concentración de Cr(VI) durante el ensayo .....	38
<b>Fig 29.</b> Comparación del porcentaje de remoción de metales por diferentes dosis.....	39
<b>Fig 30.</b> Comparación del porcentaje de remoción de metales por tipo de biomasa.....	40
<b>Fig 31.</b> Gráfico de correlación entre dosis de biomasa y eficiencia de remoción .....	41
<b>Fig 32.</b> Gráfico de correlación entre tiempo de contacto y adsorción de Cr(VI) .....	41

<b>Fig 33.</b> Variación de la temperatura durante la biosorción .....	42
<b>Fig 34.</b> Variación de la conductividad eléctrica del medio .....	43
<b>Fig 35.</b> Influencia del tamaño de partícula del adsorbente .....	43
<b>Fig 36.</b> Efecto del pH inicial en la adsorción de metales .....	43
<b>Fig 37.</b> Cinética de adsorción ajustada al modelo de Langmuir .....	44
<b>Fig 38.</b> Cinética de adsorción ajustada al modelo de Freundlich .....	45
<b>Fig 39.</b> Comparación de modelos de isoterma .....	45
<b>Fig 40.</b> Resultados comparativos de la eficiencia entre tratamientos .....	46
<b>Fig 41.</b> Representación esquemática del proceso de biosorción bacteriana .....	47
<b>Fig 42.</b> Micrografía de bacterias sulfatorreductoras observadas al microscopio óptico. ....	47
<b>Fig 43.</b> Esquema del mecanismo de remoción de Cr(VI) por reducción biológica .....	48
<b>Fig 44.</b> Diagrama del sistema experimental de flujo continuo .....	48
<b>Fig 45.</b> Representación del biorreactor utilizado en el ensayo .....	49
<b>Fig 46.</b> Diagrama del sistema de aireación y control de pH .....	49
<b>Fig 47.</b> Curva de calibración para determinación de Cr(VI) .....	50
<b>Fig 48.</b> Espectro UV-visible de soluciones de referencia .....	51
<b>Fig 49.</b> Variación de la absorbancia en función de la concentración .....	51
<b>Fig 50.</b> Resultados de la determinación de hierro total .....	52
<b>Fig 51.</b> Curva de calibración para hierro .....	53
<b>Fig 52.</b> Diagrama de flujo del tratamiento con bacterias sulfatorreductoras .....	53
<b>Fig 53.</b> Comparación de la reducción de sulfatos por distintas cepas .....	53
<b>Fig 54.</b> Resultados de la medición de turbidez del medio .....	55
<b>Fig 55.</b> Variación de la concentración de sulfuro producido .....	55
<b>Fig 56.</b> Gráfico de correlación entre sulfuro y remoción de Cr(VI) .....	56
<b>Fig 57.</b> Modelo de reacción global de bioprecipitación .....	57
<b>Fig 58.</b> Diagrama del ciclo de oxidación-reducción en el sistema Fe/S .....	57
<b>Fig 59.</b> Imagen del biorreactor piloto implementado .....	58
<b>Fig 60.</b> Diagrama general del proceso de biorremediación evaluado .....	58
<b>Fig 61.</b> Resultados del análisis químico de efluentes tratados .....	59
<b>Fig 62.</b> Resultados del análisis químico de efluentes sin tratamiento .....	59
<b>Fig 63.</b> Comparación del contenido de metales antes y después del tratamiento .....	60
<b>Fig 64.</b> Efecto de la biomasa en la reducción del cromo total .....	60
<b>Fig 65.</b> Análisis estadístico del porcentaje de remoción .....	60
<b>Fig 66.</b> Box plot de remoción de metales por tipo de biomasa .....	61

<b>Fig 67.</b> Relación entre concentración inicial y remoción obtenida .....	62
<b>Fig 68.</b> Porcentaje de remoción de Cr(VI) a diferentes tiempos de contacto .....	62
<b>Fig 69.</b> Porcentaje de remoción de Cr(VI) a diferentes dosis de biomasa .....	62
<b>Fig 70.</b> Porcentaje de remoción de Cr(VI) a diferentes valores de pH .....	63
<b>Fig 71.</b> Ajuste de datos experimentales al modelo de Langmuir .....	64
<b>Fig 72.</b> Ajuste de datos experimentales al modelo de Freundlich .....	64
<b>Fig 73.</b> Comparación entre modelos de adsorción .....	67
<b>Fig 74.</b> Representación gráfica del proceso de regeneración de biosorbente .....	67
<b>Fig 75.</b> Comparación de eficiencia entre ciclos de adsorción y desorción .....	67
<b>Fig 76.</b> Diagrama resumen del proceso global de biorremediación .....	68



## 1. INTRODUCCION

El impacto ambiental por acumulación de metales pesados es un inconveniente muy común producido por la actividad industrial en distintos ámbitos y niveles, la cual se incrementa continuamente, y a su vez afecta los recursos hídricos, el suelo y la atmósfera. En las distintas poblaciones y en las zonas de cultivo de los mismos poblados, así como afectando la vida e integridad de los animales de ganado y compañía, haciendo énfasis en la salud de la población pediátrica de dichas comunidades, convirtiéndose en uno de los problemas ambientales más relevantes de la sociedad actual.

Los compuestos que contribuyen mayor cantidad de polución por metales pesados, provienen de los desechos de las industrias que fabrican plástico, fertilizantes, pigmentos, minería, metalurgia y curtiembre, siendo que la comunidad científica, con mayor agrupación en las universidades se ha dirigido a la mencionada problemática, orientando esfuerzos para el tratamiento y eliminación de los mencionado metales pesados con el objetivo de detener este problema y recuperar las zonas perdidas por la contaminación, para su posterior uso como viviendas, crianza de ganado e incluso agricultura.

Los aspectos más característicos de la contaminación causada por metales pesados son los elementos bioacumulables y no biodegradables (acumularse en organismos vivos), de manera que se acumulan y afecta el medio ambiente, alimentos y seres vivos (2). Los metales pesados presentes en el lecho de los ríos, los cuales se relacionan con el impacto de la polución provocada por el ejercicio industrial, el cual es acumulativo como se mencionó, son elementos no biodegradables, la cual a su vez pasa de contaminar los ríos y lagos a acumularse en los suelos destruyendo la capacidad que tienen de ser usados en cosechas (3,4).

Con el paso de los años y la demanda del mercado en constante crecimiento, la industrialización se mantiene en apogeo y continua evolución, pero, aunque gran parte de esta intenta regularse bajo las normas de la ISO, debido a la demanda surgen “compañías” ilegales que no se poseen interés alguno por seguir las regulaciones y solo buscan lucrar de la manera más rápida posible (5). Hoy en día la industria minera es la que más afecta el medio ambiente ya que día a día son más las minas informales que destruyen y alteran los ecosistemas y el paisaje con explosivos y tratamientos químicos para intentar obtener los minerales más puros descartando los elementos que consideran desechos, mientras que la

minería formal se mantiene en los límites permitidos por la norma ISO 14001 con un control por parte del MINEM (Ministerio de Energía y Minas) (6,7).

En la actualidad existen tratamientos para este tipo de intoxicaciones pero son más efectivas entre más temprano se detecten los síntomas y el toxico causante así como el tiempo de exposición y la acumulación en los pacientes, pero eso no es todo, la ciencia se ha ido orientando a la sanación causada por esta polución, para recuperar las áreas consideradas perdidas por la contaminación, y para evitar mayor contaminación, las áreas de investigación de distintas universidades, incluyendo a la UCSM, la cual ha realizado diversos ensayos de investigación del uso de desperdicios vegetales para emplearlos en la llamada biorremediación de estas zonas.



## 2. OBJETIVOS

### a. Objetivo general

Recopilar y analizar la evidencia disponible sobre las técnicas y métodos de biorremediación desarrollados y comprobados en la Universidad Católica de Santa María en el periodo 2013-2023.

### b. Objetivos específicos

- i. Enfatizar los elementos necesarios para poner en práctica cada método de biorremediación.
- ii. Establecer la eficacia de cada método frente a los diferentes metales pesados que causan zonas inertes
- iii. Establecer la escuela profesional que demuestra mayor iniciativa por el desarrollo de métodos de remediación biológica de metales pesados.

Al realizarse la revisión sistemática de las tesis aprobadas y publicadas en la UCSM con relación a la biorremediación de metales pesados, y las técnicas empleadas para obtener los mejores resultados, con las distintas especies botánicas, así como la efectividad dependiendo del metal pesado en la cual se empleó dicho método, permitiendo la fácil aplicación a pequeña y gran escala en las poblaciones y comunidades que las requieran con un rápido y fácil acceso, cumpliendo los criterios:

**Originalidad:** Tomando en cuenta la considerable cantidad de investigaciones realizadas en la UCSM y disponibilidad de estas en el repositorio de tesis, pero con la dispersión y abundancia de los resultados y conclusiones, lo que permite que la realización de la revisión sistemática sea innovadora y aporte original.

**Relevancia contemporánea:** El presente estudio de investigación debe su relevancia a la constante necesidad latente de la disposición de medios para minimizar y erradicar la contaminación por metales pesados causado por las distintas industrias, resaltando la labor de la industria minera y la inevitable acumulación de sus desechos, dentro de los cuales los metales pesados son los primeros en la lista, al ser la mayoría acompañados de un costo elevado, el uso de métodos de biorremediación permite encontrar su aplicabilidad accesible, es por ello la necesidad de poder acceder a la información sintetizada y más relevante, de manera rápida y libre.

**Relevancia social:** La información recopilada del presente trabajo permitirá el acceso y uso de los métodos con mejores resultados en las comunidades que lo necesiten, así como el desarrollo de nuevos métodos y realizar posibles correcciones o mejoras a los existentes al encontrarse la información más relevante sintetizada.



### 3. CUERPO DE LA REVISIÓN

#### 3.1 Metales pesados:

Los metales pesados constituyen un grupo de elementos químicos con elevada densidad (superior a  $4\text{g/cm}^3$ ), de elevada masa y con un peso atómico superior a 20, poseen un alto potencial de toxicidad en sistemas biológicos, debido a que tienden a la acumulación al no degradarse, entre los nombres más conocidos pertenecientes a este grupo, tenemos al Arsénico, Talio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo, Estaño, entre otros. Pero según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia para el Registro de Enfermedades y Sustancias tóxicas (ATSDR) los considerados altamente tóxicos son: el Plomo “Pb”, el Mercurio “Hg”, el Cadmio “Cd” y el Arsénico “Ar” (1). Los síntomas y señales clínicas son característicos y dependientes del metal causante de la intoxicación, además van a diferir si el cuadro es agudo o crónico, generando efectos en la salud tanto leves a graves, dependiendo del grado de intoxicación y tiempo de exposición frente al tóxico causante.

Se dividen en 3 clases de acuerdo con su reactividad para con otros elementos: la Clase A tienen una predilección por reaccionar con el oxígeno, Aluminio (Al), Calcio (Ca), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Lantano (La); mientras que la clase B se orienta a reaccionar con el azufre, Cobre I (Cu I), Mercurio (Hg) y Plata (Ag); y finalmente la Clase C tienen reactividad intermedia, Hierro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Cobre II (Cu II) (8).

Estos metales se encuentran de forma naturaleza, desempeñando un rol en ciclos biológicos, el problema se ha producido por la acumulación de estos debido a la actividad antropogénica, esta acumulación se evidencia en suelos, agua, aire y fauna (9).

En los trabajos de tesis evidenciamos que los metales pesados involucrados en investigación y desarrollo de métodos de biorremediación son:

#### 3.1.1 Hierro

El símbolo químico del Hierro es Fe, el cual cuenta con un peso atómico de 55.845, así como una densidad de  $7.874\text{ g/cm}^3$ , clasificándose como un metal pesado, de abundante presencia en la corteza terrestre, obtenido principalmente de los minerales hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y magnetita

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), pero otras fuentes importantes son la taconita, limonita y siderita (10).

Extensamente utilizado en industria para la fabricación de materiales de oficina, aleaciones para herramientas, utensilios e incluso material de construcción, a nivel biológico participa con la hemoglobina en humanos y animales, permitiendo el transporte de oxígeno por su reactividad con el mismo al tener un fácil proceso de oxidación-reducción (Fe<sup>+2</sup> ⇌ Fe<sup>+3</sup>), así como en la producción de clorofila en las plantas (11).

El problema empieza cuando el hierro (Fe<sup>+2</sup>) acumulado en lechos acuíferos reacciona con el oxígeno (Fe<sup>+3</sup>), ya que, a pesar de ser necesario para el desarrollo de especies botánicas, al acumularse es capaz de limitar su crecimiento, en animales y humanos se produce acumulación en distintos órganos y tejidos, siendo observable como hemocromatosis o hemosiderosis, especialmente en el hígado, además de que el incremento de su concentración eleva la producción de radicales libres, causando daño celular, estrés oxidativo, contribuyendo al surgimiento de diversas enfermedades entre ellas determinados tipos de cáncer, problemas cardíacos, y neuronales (12,17).

Bajo condiciones anaeróbicas es posible una acumulación de Fe<sup>+2</sup> en suelos debido a la reducción del Fe<sup>+3</sup>, afectando cultivos como arrozales, afectando la producción de clorofila ya que las hojas toman un tono rojizo pardeado al tener más de 300ppm de Fe (13). Además de impedir la correcta asimilación de oxígenos en criaturas marinas al asociarse con este (14).

De igual manera es posible que la acumulación de Fe estimule la proliferación de bacterias conocidas generalmente como bacterias del hierro (*Gallionella*, *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptothrix*, *Sphaerotilus*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Sideróforos*), produciendo un sedimento viscoso como el limo, puede causar infecciones graves por la abundante presencia de estos microorganismos, así como el taponamiento de sistemas de agua debido a la densidad y viscosidad de los sedimentos (15).

La contaminación de aire con vapores o polvo de óxido de hierro desencadena neumoconiosis benigna también denominada siderosis al tener una exposición continua a este ambiente, la cual puede agravarse desarrollando cáncer de pulmón (16).

La concentración de Fe en agua permitido por la Ley General de Aguas descrita en el D.S. N° 002-2008-MINAM (Ministerio del Ambiente), es de 0.3 mg/L como máximo, mientras que en aire es de 350 ug/m<sup>3</sup> dado en la resolución Ministerial N° 315-96 EM/VMM, mientras que

para el valor permitido en suelos residenciales se toma como referencia lo establecido en la norma estadounidense de 23 000mg/kg (18), y para suelo agrícola se considera un valor toxico de 300 ppm (19).

### 3.1.2 Cadmio

Es un metal de peso atómico de 112.40, con una densidad  $8.65 \text{ g/cm}^3$ , a pesar de no contar con una abundancia natural en la corteza, se ha incrementado su presencia al ser un subproducto de procesos con Zn y Cu, en industria productora de cemento, textiles y plásticos, por combustión de petróleo y sus derivados, así como en la minería, hallado de igual manera en aguas residuales, fertilizantes compuestos por fosfatos, baterías (20, 21).

Es capaz de interferir con el desarrollo neurológico, así como provocar daño a nivel renal, óseo y pulmonar (20). En humanos y animales ingresa por medio de aire contaminado, así como en comida y agua por ingestión de estos, empleando a las metalotioneinas (proteínas transportadoras), las cuales las conducen a los riñones en donde se acumulan, específicamente en los túbulos proximales, pero no es exclusivo ya que es capaz de acumularse en los hematíes de igual manera (22).

La cantidad máxima de Cd permitida en agua potable no debe superar los 0.005 ppm según la FDA, mientras que el aire  $0.4 \text{ ng/m}^3$  en localidades rurales y hasta  $5 \text{ ng/m}^3$  en sectores urbanos indicado por el D.S. N° 107-2021-MINAM, así como un límite de 1.4 ppm en suelos agrícolas de acuerdo con la regulación de estándares de calidad ambiental (ECA) y el MINAM.

### 3.1.3 Plomo

Es un elemento metálico de aparición en el medio ambiente poco frecuente y muy antiguo, los minerales que presentan este metal son la anglesita, galena, cerusita y el minio. Cuenta con un peso atómico de 207.2 y una densidad  $11.34 \text{ g/cm}^3$ . Considerado altamente toxico, además de ser un producto residual en la descomposición de elementos radioactivos naturales (23).

Es empleado ampliamente a nivel industrial en soldaduras, empleado como cobertura de cables. Fabricación de municiones, como escudo contra la radiación de rayos X y reactores nucleares, fabricación de baterías, y utilizado para la obtención de aleaciones (con Estaño,

Cobre, Arsénico, Bismuto, Cadmio, Sodio y Antimonio (24). Se acumula en organismos vivos, el aire, suelo, cuerpos de agua, y suelo, la intoxicación por su acumulación puede desarrollar alteraciones neurológicas, anemia, cáncer de riñón, problemas de crecimiento, la acumulación de este metal se da en diversos órganos como el cerebro, hígado, riñones y huesos. La actividad minera, industria de transformación metálica, producción de pinturas y combustible produce residuos con el plomo lo cual provoca la contaminación del medio ambiente (25,26).

Es capaz de ingresar a sistemas orgánicos por medio de inhalación o ingestión, distribuyéndose al unirse a los hematíes hasta llegar a los órganos diana como el hígado, los riñones, la médula ósea y sistema nervioso central, valores máximos permitidos, en el aire se permite máximo 1.5 ug/m<sup>3</sup> según la EPA (Environmental Protection Agency), según la Ley de Agua descrita en el D.S. N° 002-2008-MINAM es de 0.1 mg/L y en suelo agrícola el límite es de 70mg/kg según la EPA.

### 3.1.4 Cobre

Es un elemento tipo metal con un valor atómico de 63.55 y densidad de 8.94 g/cm<sup>3</sup>, es hallado naturalmente en grandes menas de sulfuros, óxidos y carbonatos, a pesar de ser considerada un nutriente esencial su acumulación en exceso lo hace un tóxico potencial, ya que se acumula en el hígado y cerebro (29).

En organismos vivos puede causar úlceras gastrointestinales, con náusea, diarreas, vómitos, necrosis, daño hepático al darse cirrosis y lesiones renales. A nivel industrial utilizado en la manufactura de cables telefónicos, eléctricos, entre otros, y desarrollo de diversas tecnologías innovadoras por su gran conductibilidad, minería, galvanizado, incrementando la eficiencia de transmisión de datos, como fertilizante en agricultura, así como bactericidas, fungicidas y alguicidas para purificar aguas (30,31).

Se acumula en el ambiente debido a los desperdicios de fábricas, basurales, aguas residuales, combustión de desperdicios o petróleo y sus derivados, entre otros. Contamina el agua, suelos y aire, siendo los valores permitidos de 3 mg/L en agua indicado por la Ley de Aguas, según lo indicado por el D.S. N° 020-2021-MINAM el límite permisible de Cu en aire es de 10 ppm, y de 50 g de Cu/tonelada de suelo según la Centro de Control y Prevención de Enfermedades (CDC).

### 3.1.5 Arsénico

Es un sólido cristalino y frágil de naturaleza metálica, su peso atómico es de 74.92 y su densidad de  $5.43 \text{ g/cm}^3$ , se acumula tanto en suelos como en el aire y el agua, gracias a la actividad volcánica (34). Considerada una de las sustancias más nocivas para los organismos vivos, ingresando al sistema por medio de inhalación o ingestión, provocando síntomas intensos como desordenes gastrointestinales, así como calambres y colapso a nivel circulatorio (35).

Se emplea en el revestimiento de bronce, como parte de la composición de pirotécnicos, en la fabricación de perdigones, minería, incluso en algunos tipos de vidrios, baterías, pesticidas, insecticidas y venenos de uso agrícola. Pero la bioacumulación en suelos por la adición de agua contaminada para riego deriva en disminución de la velocidad de crecimiento del cultivo, así como la bioacumulación en los productos agrícolas obtenidos (36).

La bioacumulación por periodos prolongados causa pigmentación en la piel, lesiones a nivel medular, de células sanguíneas, hepatocitos, además de causar lesiones en el sistema respiratorio y nervioso central, patologías vasculares, e incluso cáncer de laringe, pulmón y esófago (37). Las normas establecidas indican que la concentración máxima permitida en agua potable y de efluentes de procedencia industrial es de  $0.005 \text{ mg/L}$  y  $0.01 \text{ mg/L}$  de manera correspondiente, siendo esta información publicada por la OMS, de igual manera el D.S. N° 020-2021-MINAM indica que la ECA (Estándares de Calidad Ambiental), declara límite máximo permisible en suelos una concentración de  $22 \text{ mg/kg}$  de arsénico y en cuanto a la concentración en aire el límite se da en  $23 \text{ ng/m}^3$  declarado por la EPA.

### 3.1.6 Cromo

Es un elemento de color gris acerado brillante, con un peso atómico de 52 y una densidad de  $7.14 \text{ g/cm}^3$ , hallado en la naturaleza en sus diferentes estados de valencia, siendo su estado trivalente el más estable (Cr III). El cromo es empleado principalmente para endurecer el acero, pero cumple un rol en la industria de aleaciones, galvanizados, en productos de limpieza en cristalería, conservación de madera, curtiduría, industria textil, minera y pigmentos o colorantes. A nivel biológico cumple un papel importante al participar del metabolismo de lípidos proteínas y grasas (41,42).

Este compuesto puede ingresar al sistema orgánico por medio de contacto dérmico, inhalación

e ingesta, causando irritación en vías respiratorias, digestivas, al acumularse puede producir cáncer pulmonar, lesionar membranas y mucosas derivando en ulceraciones, además provoca irritaciones de la piel, debido a su naturaleza caustica, al acumularse en el sistema orgánico forma enlaces estables con proteínas, y en su forma trivalente y hexavalente es cuando tiene mayor toxicidad, ya que desnaturaliza proteínas y precipita ácidos nucleicos (43,44).

Los niveles límites establecidos de cromo como agente contaminante va de acuerdo con el área que contamina, en el aire se permite una concentración máxima de  $0.005\text{mg}/\text{m}^3$  de cromo IV y  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$  de Cromo III de acuerdo con lo establecido por la CDC, la Ley de Agua dado por en MINAM se instauro que el límite permitido de cromo total en agua es de  $0.05\text{mg}/\text{L}$  y lo permitido por la ECA en suelo agrícola es de  $0.4\text{mg}/\text{kg}$ .

### 3.2 NORMATIVA REGULARIZADORA

Las leyes y normas aprobadas y publicadas por cada gobierno son los que rigen los límites y estándares de calidad, en caso de no contar con normativa aprobada por su país de estadía, es autorizado emplear los límites establecidos por un organismo internacional como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), entre otros que al igual que la USAID cuentan con posición y relevancia internacional como la FDA, EPA, entre otros.

#### i. Ley N° 28611 Ley General del Ambiente

La ley entro en vigencia el día 13 de Octubre del 2005 al ser publicada a nivel nacional, hasta la actualidad ha pasado por 3 modificaciones: D.L. N° 1055, Ley N° 29263 y la Ley N° 29895.

En la ley se encuentra la regulación del accionar cuyo objetivo es la preservación de los ecosistemas y del medio ambiente en general, mejorando la calidad de vida de los miembros de la comunidad y contribuyendo al desarrollo de la nación, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus constituyentes.

De igual manera se da el establecimiento de certificados de autorización previa para el vertimiento de aguas residuales, sean estas de origen doméstico, industrial o de otra índole, verificando que esta acción no dañe la calidad de los cuerpos acuíferos receptores, evitando

afectar la reutilización de dicha fuente de agua, finalmente estableciendo los Límites Máximos Permitidos (LMP) y cumpliendo los parámetros de calidad por los efluentes.

**ii. Decreto Ley N° 17752 Ley General de Aguas**

La presente ley fue proclamada el 24 de Junio de 1969, luego de modificaciones a lo largo de los años, en la actualidad permite establecer que los cuerpos de agua sin excepción son pertenecientes al estado, contando con un dominio total, sin permitir que caiga bajo la categoría de propiedad privada, manteniendo el uso de esta de manera racional y justificada, con propósitos sociales y para estimular el desarrollo de la nación.

De igual manera establece que ninguna clase calificada como derramamiento (líquido, gaseoso o sólido), sea realizado a nivel marítimo o terrestre sin poseer la autorización previa otorgada por la Autoridad Sanitaria, lo cual se ha indicado en el D.S. N° 261-69-AP.

**iii. D.S. N° 002-2008-MINAM Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental de Agua**

En este documento se da el establecimiento de estándares aplicados a nivel de calidad del medio ambiente nacional para con el agua, diciendo los parámetros aplicables a cada categoría de agua.

**iv. D.S N° 021-2009-VIVIENDA**

El presente decreto supremo realiza la aprobación de los valores máximos admitidos en agua residuales a ser descargadas de procedencia no doméstica hacia el alcantarillado, con el propósito de evitar o minimizar el deterioro hacia las instalaciones e infraestructura sanitaria, de igual manera para con la maquinaria y los equipos de tal manera que se permite asegurar el correcto funcionamiento y permitir que se garantice la sostenibilidad del sistema de alcantarillado y el procedimiento del tratamiento de aguas residuales.

### **3.3 BIORREMEDIACIÓN**

Perteneciendo a la biotecnología ambiental como una rama orientada a resolver problemas relacionados a la contaminación producida por residuos industriales, mineros, entre otros. Este proceso emplea organismos vivos los cuales tiene la capacidad de realizar una degradación de compuestos químicos de carácter tóxico entre otros residuos clasificados como peligrosos, estos organismos son microorganismos (bacterias o levaduras) y plantas u hongos, logrando

una reducción e incluso en ocasiones obteniendo una eliminación completa del riesgo hacia el medio ambiente. Siendo una de las definiciones posibles, un proceso que emplea tecnología biológica en la aceleración de la conversión de contaminantes en productos de toxicidad disminuida (55).

Uno de los organismos que posee relevancia internacional es la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU), define el proceso de biorremediación como “Proceso en el que microorganismos, comúnmente bacterias u hongos, realizan la degradación de químicos peligrosos resultando en compuesto de toxicidad inferior o no tóxicos”. Proceso aplicable en los diversos estados de la materia (sólido, líquido o gaseoso). Se puede clasificar según los contaminantes que se buscan disminuir o eliminar. (56,57): Metales pesados, Hidrocarburos, compuestos organofosforados, nitroaromáticos, cianuro entre otros, estos procesos pueden producirse por 3 mecanismos:



**Fig 1.** Facciones de la Biorremediación

**a. Degradación Enzimática**

Este mecanismo es producido por medio de enzimas las cuales se usan en un sitio afectado, consiguiendo una degradación de los compuestos nocivos presentes en dicha área. Es posible obtener las enzimas útiles para este tipo de procesos en cantidades industriales, ya que las bacterias las producen de manera natural, siendo posible modificar algunas bacterias genéticamente para poder ser comercializadas con empresas dedicadas al sector biotecnológico (58).

**b. Remediación Microbiana**

Haciendo uso de microorganismos en el foco del problema, gracias a la existencia de

microorganismos con capacidad de biodegradar, un elevado porcentaje de eubacterias, las cuales tiene acción peroxidasa y oxigenasa, además de una cualidad de convertir moléculas orgánicas en compuestos más reducidos, así como menos toxico.

La abundante presencia y variedad de microorganismos en el mundo permite múltiples opciones para lograr la limpieza del medio ambiente, la cual es producida en su mayoría por la actividad antropogénica, siendo que muchos de estos microorganismos pertenecen a la categoría de: bacterias, levaduras u hongos, los cuales logran una degradación relativamente fácil del petróleo además de los derivados de este, del benceno, acetona, pesticidas, herbicidas, entre otros, adicionalmente es posible lograr una acumulación y aislamiento de metales pesados por medio de bacterias, de tal manera que se facilite su eliminación gracias a la imposibilidad de su biodegradación natural (59).

Uno de los sistemas más comunes aplicable en métodos de biorremediación es el de descomposición con material biológico, ya que este permite el control sobre el crecimiento de microorganismos, este sistema es denominado biorreactor, son recipientes encargados de mantener parámetros establecidos dentro de su ambiente controlado, los parámetros son temperatura, aireación, humedad y pH, los cuales varían de acuerdo a la cepa a trabajar, con el propósito de la supervivencia y el mayor índice de crecimiento en el menor tiempo, además de emplearse para realizar el tratamiento de aguas contaminadas.

### **c. Fitorremediación**

Se basa en el uso de especies botánicas con el propósito de “limpiar” ambientes contaminados, constituyendo un plan estratégico con gran potencial.

Teniendo una relevancia en el uso absoluto de la flora como herramienta para el mantenimiento del medio ambiente, esto es gracias a la capacidad que presentan algunas de estas de adsorber o acumular sustancias contaminantes, como ejemplo tenemos metales pesados como compuestos de naturaleza orgánica toxica, así como compuestos radiactivos

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Para identificar los trabajos de tesis publicados individualmente, centrados en el estudio y la investigación cuyo objetivo es la biorremediación, específicamente de compuestos bioacumulables con alta capacidad contaminante como lo son los denominados metales pesados, desarrollo de método, y efectividad de este. Entran en la categoría de metales pesados los que poseen una densidad mayor a  $5\text{g/cm}^3$ , pero no todos son considerados tóxicos, pero existen un listado que representan un problema serio a nivel medioambiental, Mercurio “Hg”, Plomo “Pb”, Cadmio “Cd”, Talio “Tl”, Cobre “Cu”, Zinc “Zn” y el Cromo “Cr”, de igual manera existen ocasiones en las que entran en la lista metales más ligeros como el Berilio (Be), el Aluminio (Al) y al semimetal nombrado Arsénico (As).

Se accedió a la base de datos segregada para las tesis publicadas en la Universidad Católica de Santa María, por medio del acceso remoto que permite la biblioteca virtual del mismo, procediendo con la búsqueda, se orientó la misma a las tesis de licenciaturas publicadas en la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, en la cual se emplearon los descriptores de búsqueda: “metales pesados” y “biorremediación”, tomando las tesis publicadas en el periodo 2013 hasta el 2023.

En este presente trabajo de tesis se procedió por una orientación de enfoque retrospectivo descriptivo de tipo no experimental, llevándolo a un tipo de estudio de base documental, fijando la investigación y recolección a las tesis que involucre la determinación cuantitativa o cualitativa de metales pesados tóxicos, que estas se hallan publicado en el periodo 2013 al 2023, y se empleen métodos de biorremediación, se realizó una revisión de la literatura obtenida, extrayendo toda la información con mayor relevancia:

- Título
- Autor(es)
- Año de publicación
- Metales analizados
- Muestra analizada
- Métodos
- Resultados
- Conclusiones

Fundamentando la investigación en la siguiente incógnita: ¿Cuál es el mejor método de biorremediación para contaminación por metales pesados desarrollado en la UCSM?. Luego del análisis de la información recolectada, se realizó la clasificación de la mencionada data de acuerdo con los criterios de agrupamiento en relación con la biorremediación de la acumulación de elementos metálicos de alta densidad que se emplearon métodos innovadores que fueron estandarizados o algún método previamente estandarizado, logrando una mejora significativa en la determinación de metales pesados empleando técnicas cuali-cuantitativas.

## 4.2 DISEÑO

Con estructuras observadas en revisiones previas y metaanálisis, se decidió orientarse por un sistema **descriptivo** (al proveer información conjunta de los trabajos revisados), **transversal** (considerando que la recolección de datos fue realizada en un periodo específico), **retrospectivo** (al trabajar con tesis publicadas entre el 2013 hasta el 2023), y **no experimental** (al ser una revisión sistemática).

Se realizó una revisión de los metales pesados con mayor índice de estudio por encima de otros así como los daños que estos son capaces de ocasionar al ser agentes contaminantes y tóxicos, así mismo se procedió con el análisis a la metodología y técnicas de biorremediación, así como de la determinación cuali-cuantitativa de los metales pesados presentes inicialmente en la muestra y al terminar el tratamiento, para finalmente comparar los resultados obtenidos en cada investigación, así como las conclusiones observables obteniéndose cuadros resúmenes de los mismos.

## 5. RESULTADOS

Para continuar con el desarrollo de la Revisión Sistemática correspondiente a los trabajos de tesis recopilados, los mismos que están relacionados con el tema de biorremediación de metales pesados, se procede a la verificación de los métodos innovadores, así como la optimización de los métodos existentes y el año de publicación.

En el subsiguiente esquema se puede evidenciar el resultado posterior a la búsqueda de los trabajos de tesis, hallándose un total de 414 trabajos de tesis publicadas en la Facultad de Ciencias Farmacéuticas Bioquímicas y Biotecnológicas, de las cuales 218 tesis fueron publicadas por la escuela profesional de Ingeniería Biotecnológica y 196 tesis por la escuela de Farmacia y Bioquímica, siendo que solo 19 trabajos de tesis han sido desarrollados alrededor del tema de biorremediación de metales pesados, y finalmente estos 19 trabajos de tesos corresponden únicamente a la escuela de Ingeniería Biotecnológica.

Se cuenta con un total de 19 trabajos de tesis publicadas en el repositorio de tesis de la Universidad Católica de Santa María, específicamente en la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, las cuales se desarrollaron orientados al tema de biorremediación de metales pesados.

**5.1 Criterios de clasificación:** Se tomaron en cuenta cuatro criterios para realizar la clasificación de la información obtenida.

**5.1.1 Tesis publicada por cada escuela profesional:** De 19 tesis compiladas para la obtención del grado de licenciatura, pasaron por una identificación orientado a la escuela profesional de la cual fue publicada teniendo como resultado el siguiente cuadro.

**Tabla 1:** Cantidad de tesis publicadas por escuela profesional

<b>Escuela profesional</b>	<b>Cantidad de tesis</b>	<b>Porcentaje</b>
Farmacia y Bioquímica	0	0%
Ingeniería Biotecnológica	19	100%
TOTAL	19	100%

**5.1.2 Año de publicación de tesis:** Se tomo como segundo parámetro la clasificación de acuerdo al año en el cual se realizó la publicación del trabajo de tesis, criterio que permite identificar la frecuencia con la que capta relevancia la investigación con respecto a la biorremediación de elementos metálicos.

**Tabla 2:** Cantidad de tesis por año

<b>Año</b>	<b>Cantidad de tesis</b>	<b>Porcentaje</b>
2013	2	10.53%
2014	3	15.8%
2015	2	10.53%
2016	1	5.26%
2017	3	15.8%
2018	2	10.53%
2019	4	21.02%
2021	2	10.53%
Total	19	100%

**5.1.3 Metales pesados objetivo:** Por medio de este criterio se realiza la identificación de los metales pesados considerados como una problemática con mayor grado de urgencia a tratar de eliminar de áreas medio ambientales.

**Tabla 3.** Metales pesados objetivo

<b>Metal pesado</b>	<b>Cantidad de tesis en las que se analiza el tratamiento del metal pesado</b>	<b>Año de publicación</b>
Cromo (Cr)	10	20(13,17 <sup>2</sup> ,18 <sup>2</sup> ,19 <sup>4</sup> ,21)
Plomo (Pb)	3	20(15,16,17)
Cobre (Cu)	4	20(14,13,15,17)
Cadmio (Cd)	3	20(14,15,17)
Arsénico (As)	4	20(14,15,17,21)
Hierro (Fe)	1	2014
Cobalto (Co)	1	2015

**Tabla 3 (Cont).** Metales pesados objetivo

Níquel (Ni)	1	2015
Plata (Ag)	1	2015

**5.1.4 Método innovador u optimización:** Gracias a este criterio es posible determinar las tesis de licenciatura que buscan innovar con un método o uso de especies tanto botánicas como microbiológicas, en contraparte las que buscan mejorar las ya existentes por medio de tratamientos adicionales.

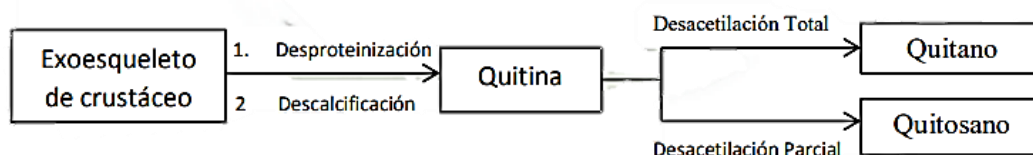
**Tabla 4:** Método innovador u optimización

Objetivo	Numero de tesis	Porcentaje
Innovar	15	79%
Optimizar	4	21%
Total	19	100%

Al realizar la búsqueda de los trabajos de tesis evidenciamos una variedad de nuevos métodos estandarizados, así como procesos de optimización para métodos ya existentes, obteniendo un total de 19 trabajos de tesis las cuales están orientadas en el tema de biorremediación, de igual manera este tipo de estudios fueron realizados en su totalidad por la escuela profesional de Ingeniería Biotecnológica en el periodo 2013-2023, analizando la información de la metodología empleada, los resultados de remoción así como de los parámetros a cumplir para obtener la mayor eficacia:

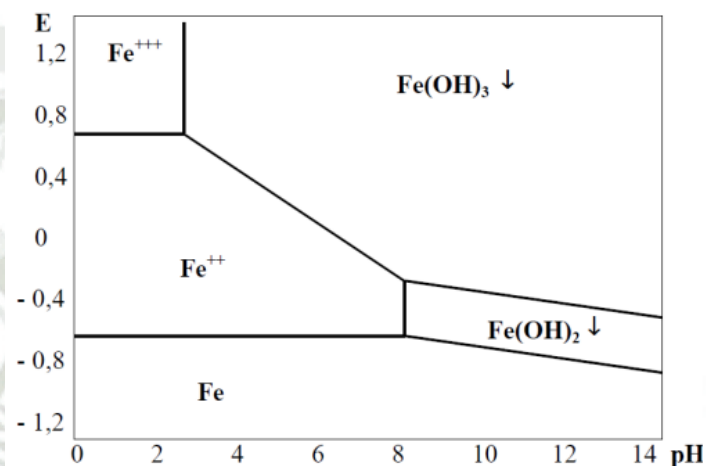
**a) Método de adsorción de Hierro Total en agua contaminada empleando Quitina**

Usando el exoesqueleto de *Emerita analoga (muimuy)*, secado con radiación solar por 3 horas, pulverizado y tamizado N° 100 obteniéndose un tamaño de partícula de 150  $\mu\text{m}$ , aplicando 2.5 g a soluciones con contenido de hierro de 250 mL, a un pH de 4.5. Pasando la solución por agitador Jar Test a 150 rpm y 18 °C observando la mínima concentración residual de Fe a los 420 minutos obteniendo una remoción de hierro total del 82%. Siendo que se logra adsorber 1.784mg de Fe/g de quitina con una velocidad de adsorción de  $0.038\text{min}^{-1}$ . Los valores óptimos para obtener una remoción del 100% indicado por software teóricamente se logra empleando 3.6 g/L de quitina, con un tamaño de partícula de 46.6  $\mu\text{m}$ , a pH 5.9 frente a 2.2mg/L de hierro total (27).



**Fig 2.** Pasos para la obtención de quitosano (64).

Fuente: \* Nakamatsu Javier, Rodriguez Nora, “Química de la quitina y el quitosano” (64).



**Fig 3.** Potencial del sistema  $Fe^{+3}/Fe^{+2}$  fren a pH (65).

Fuente: \* Zr. Rogelio Bacon. “Determinación de Hierro al Estado de Óxido Férrico” (65).



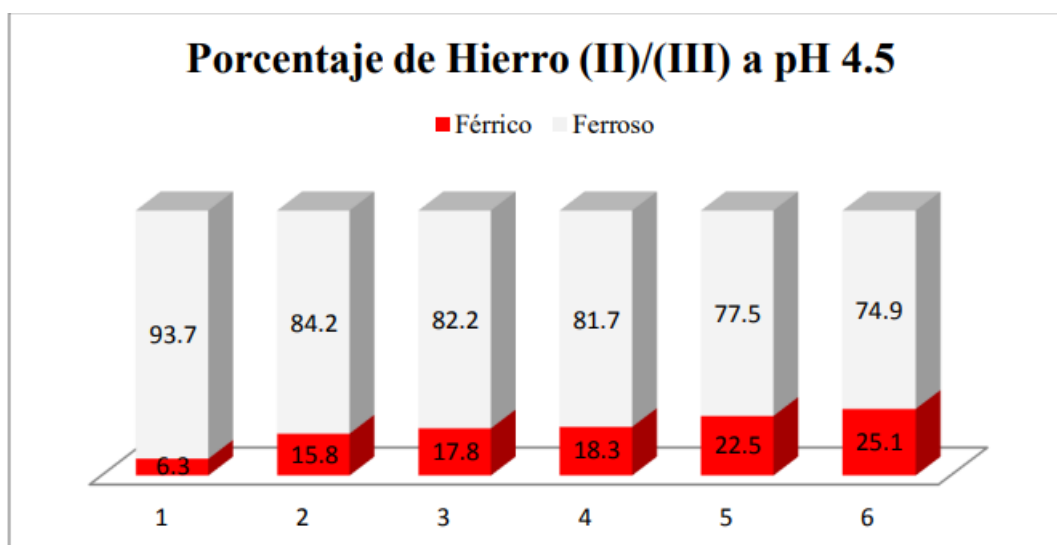
**Fig 4.** Quitina obtenida de exoesqueleto de muy muy 150μm y 850 μm (27).

Fuente: \* Tejada Sánchez, Kerly Francesca. 2014. Optimización del Proceso de Adsorción de Hierro Total con Quitina Nativa de Emerita Analoga “Muy Muy”, mediante Análisis Factorial (27).



**Fig 5.** Adsorción química Modelo Langmuir (27).

Fuente: \* Tejada Sánchez, Kerly Francesca. 2014. Optimización del Proceso de Adsorción de Hierro Total con Quitina Nativa de Emerita Analoga “Muy Muy”, mediante Análisis Factorial (27).



**Fig 6.** Porcentaje de Fe(II)/(III) a pH 4.5 (27).

Fuente: \* Tejada Sánchez, Kerly Francesca. 2014. Optimización del Proceso de Adsorción de Hierro Total con Quitina Nativa de Emerita Analoga “Muy Muy”, mediante Análisis Factorial (27).

**Tabla 8.** Porcentaje de Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup> a diferentes tiempos en pH 4.5 (27).

N°	Tiempo	%Fe (II)	%Fe (III)
1	0	93.7	6.3
2	10	84.2	15.8
3	60	82.2	17.8
4	150	81.7	18.3
5	330	77.5	22.5
6	420	74.9	25.1

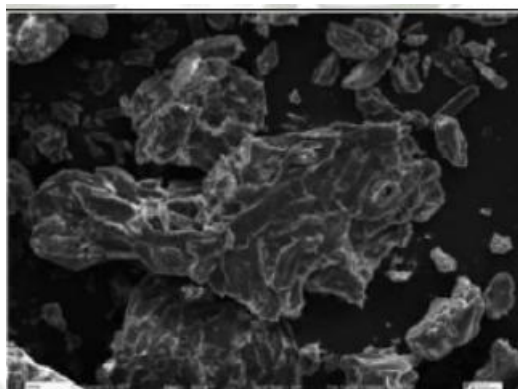
Fuente: \* Tejada Sánchez, Kerly Francesca. 2014. Optimización del Proceso de Adsorción de Hierro Total con Quitina Nativa de Emerita Analoga “Muy Muy”, mediante Análisis Factorial (27).

### b) Remoción de Plomo y Cadmio en agua contaminada por Endocarpio de Aceituna

Se lava el endocarpio para luego hervir por 90 minutos, eliminando los residuos de materia de origen orgánico y grasa ubicados en el agua, el residuo solido pasa por secado al aire libre y se tritura en licuadora sin semilla, se tamiza con el N° 100, usando partículas de 75 a 150  $\mu\text{m}$ , dar tratamiento con 100mL NaOH 0.1 N por cada g por 24 horas, luego de filtrar en ausencia de presión y lavar con agua destilada hasta obtener un pH neutro, posteriormente se realizó el secado elevando la temperatura a 60 °C en estufa por 90 minutos. Para el proceso de biosorción se emplea 0.5g con buffer citrato 0.1M hasta pH 4.5 por 40 minutos en agitación a 200 rpm.

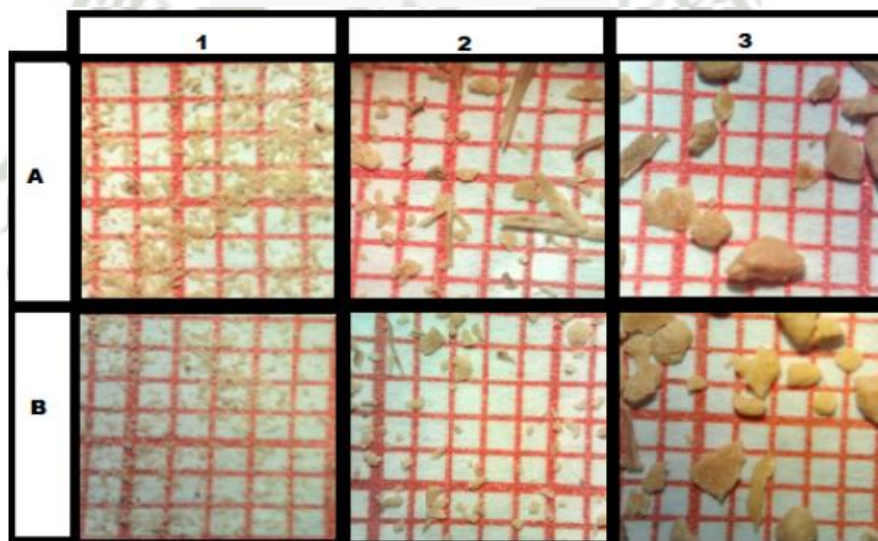
Obteniendo una remoción máxima de 28.1ppm (aproximadamente 0.73mg de Cd/g de

endocarpio) para Cd y de 58.5ppm (aproximadamente 1.94mg de Pb/g de endocarpio) en caso del Pb (28).



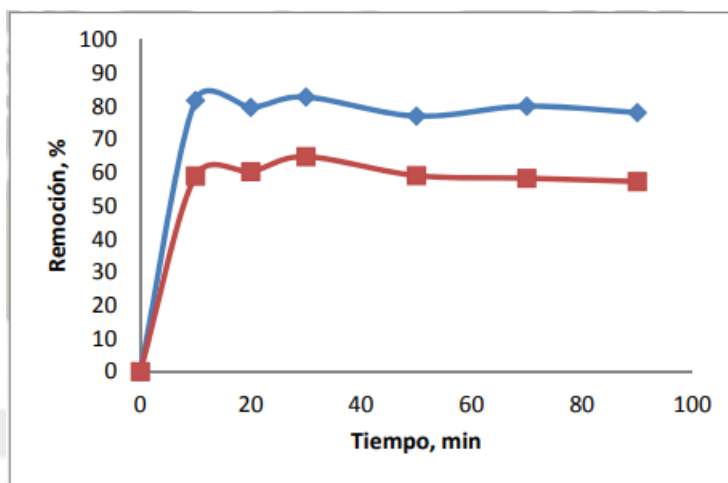
**Fig 7.** Microscopía electrónica del endocarpio de aceituna. (28).

Fuente: \* Salazar Pinto, Betty Marilia y Zea Linares. 2015. Giuliana Vanesa Estudio del Proceso de Biosorción del Endocarpio de Aceituna “Olea Europea” para la Remoción de Plomo (II) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas (28).



**Fig 8.** Endocarpio de aceituna en estereoscopia, A (tratado con NaOH) y B (tratado con HCl) (28).

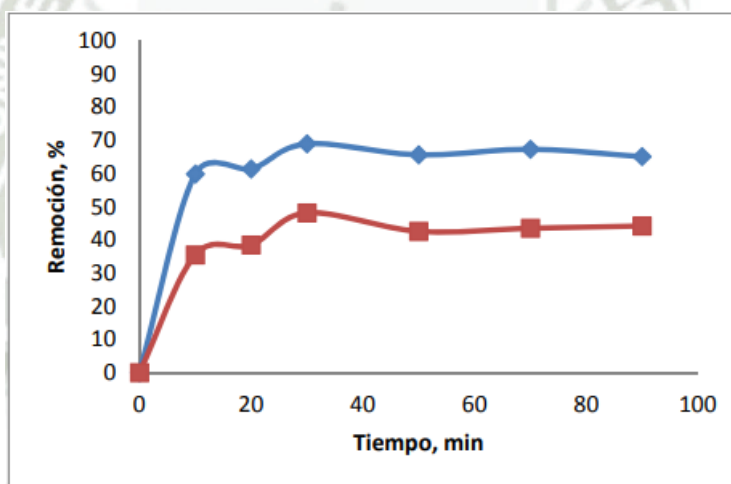
Fuente: \* Salazar Pinto, Betty Marilia y Zea Linares. 2015. Giuliana Vanesa Estudio del Proceso de Biosorción del Endocarpio de Aceituna “Olea Europea” para la Remoción de Plomo (II) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas (28).



Dónde, —◆— : 1 g endocarpio de aceituna y —■— : 0,5 g endocarpio de aceituna.

**Fig 9.** Comparación del proceso de biosorción de Cd (II) con 0.5 y 1g de biosorbente (28)

Fuente: \* Salazar Pinto, Betty Marilia y Zea Linares. 2015. Giuliana Vanesa Estudio del Proceso de Biosorción del Endocarpio de Aceituna “Olea Europea” para la Remoción de Plomo (II) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas (28).



Donde —◆— : 1 g endocarpio de aceituna y —■— : 0,5 g endocarpio de aceituna.

**Fig 10.** Comparativa de biosorción de Pb (II) con 0.5 y 1g de biosorbente (28).

Fuente: \* Salazar Pinto, Betty Marilia y Zea Linares. 2015. Giuliana Vanesa Estudio del Proceso de Biosorción del Endocarpio de Aceituna “Olea Europea” para la Remoción de Plomo (II) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas (28).

**Tabla 9.** Valores óptimos para biosorción de Cd y Pb en simultaneo con endocarpio de aceituna pretratado (28).

Factor	Optimo codificado	Optimo real	Cantidad máxima adsorbida, ppm	
			Cadmio (II)	Plomo (II)
pH	1,4	6,1	27,2	54,8
Concentración inicial, ppm	1,4	88,3		

Fuente: \* Salazar Pinto, Betty Marilia y Zea Linares. 2015. Giuliana Vanesa Estudio del Proceso de Biosorción del Endocarpio de Aceituna “Olea Europea” para la Remoción de Plomo (II) y Cadmio (II) de Soluciones Acuosas (28).

### c) Remoción de Cu en agua contaminada usando consorcio de bacterias en Biorreactor



La cepa que obtuvo un mayor rendimiento al remover el Cu fue la S3-C3, la cual pertenece al género *Bukholderia*, pero, empleando un consorcio de las cepas TM2-H1-1 (la misma que pertenece al género *Stenotrophomona*) y S3-C3, se obtuvo una remoción del 36.04%. Se coloca la cepa en un medio nutritivo modificado con 500mg/L de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , se pasa por autoclave a 121 °C por 20 minutos, son inoculadas en 10 mL de medio estéril con incubación a 37 °C por 24 horas. Se realiza la construcción de un reactor bajo metabolismo aerobio y con un flujo ascendente de acción continua, el cual cuenta con un empaque de zeolita (RAEFA-EZ), el cual consta de una columna principal, la misma que esta hecha de PVC de 1,2 m de longitud y 5 cm del diámetro interior, conta de salidas ubicadas en los laterales, 3 para ser precisos, las mismas que tienen como objetivo el paso de la muestra, dos entradas a nivel inferior para el permitir el paso continuo de aire y el paso de alimentación, así como dos salidas a nivel superior estas dan salida a los residuos y el aire, optimizando con 2 columnas adicionales seriadas (PVC y acrílico), la zeolita sumergida en el interior de la columna, junto a las cepas, y luego se empaca cada columna con 1.1 kg de zeolita clinoptilolita inoculada con el consorcio de cepas y un soporte de biomasa de 1 y 3 cm, se hizo pasa la solución contaminada con una bomba a un flujo de 0.125 L/h pasando a la segunda columna luego de 48 horas y a la tercera luego de otras 48 horas, el flujo de aireación es de 4 L/minuto (32).



**Fig 11.** Crecimiento en placa con 50mg/L de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  de relave incubado por 24 h (32).

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).

**Tabla 10.** Características macro y microscópicas de las cepas empleadas. (32).

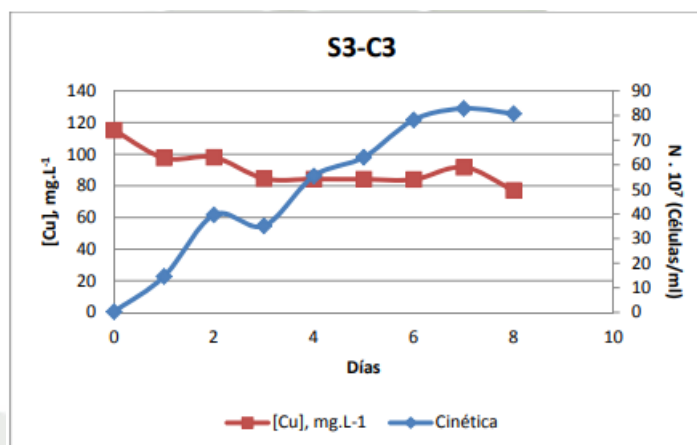
Cepa	Características	
	Macroscópica	Microscópica
TM2-H1-2	Colonias circulares medianas (3–5 mm) convexas, con bordes irregulares, color crema.	BACILOS CORTOS POSITIVO 
S3-C3	Colonias pequeñas (1–2 mm) con bordes irregulares, convexas y consistencia cremosa, color blanquecino claro.	BACILOS NEGATIVO 

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).

**Tabla 11.** Remoción de Cu (q, mg/g) (32).

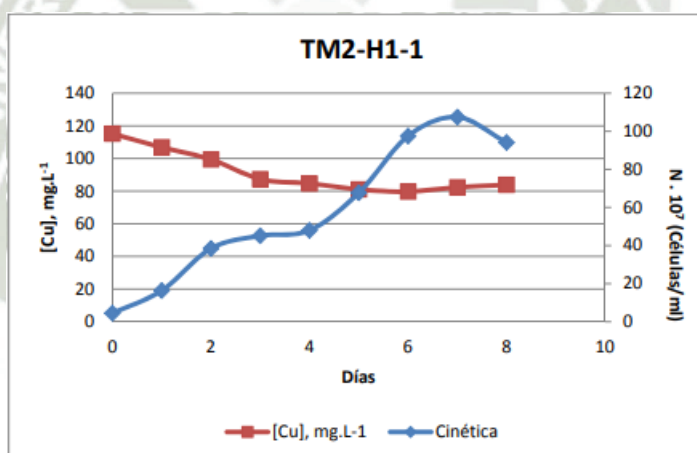
Cepas	Remoción ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	%	q ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	$\mu$ ( $\text{h}^{-1}$ )
S2-O2	27,9683	21,7662	46,5619	0,1364
TM2-H1-1	28,5071	22,1855	44,3113	0,0705
S3-C3	28,9231	22,5092	20,0575	0,0906
S1-O1	20,9639	16,3151	29,0895	0,0420

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).



**Fig 12.** Curva de crecimiento en medio con 500mg/L de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  para cepa S3-O3 (32).

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).



**Fig 13.** Curva de crecimiento en medio con 500mg/L de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  para cepa TM2-H1-1 (32).

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).

**Tabla 12.** Resultados de remoción de Cu (mg/L) (32).

Cepa	Absorción (mg · L <sup>-1</sup> )	Adsorción (mg · L <sup>-1</sup> )	[Cu] Medio (mg · L <sup>-1</sup> )	Remoción (mg · L <sup>-1</sup> )	%
S1-O1	17,8500	50,1905	121,6742	68,0405	52,8781
S2-O2	22,7136	62,2744	121,6742	84,9880	66,0490
S3-C3	21,4099	39,1095	121,6742	60,5194	47,0331
TM2-H1-1	18,4517	63,2744	121,6742	81,7261	63,5140

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).

**Tabla 13.** Porcentaje de cobertura e identidad de cepas (32).

Cepa	Especie	% Cobertura	% Identidad
TM2-H1-1	<i>Ralstonia pickettii</i>	95	97
S3-C3	<i>Ralstonia sp. AV5BG</i>	97	97

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).



**Fig 14.** Biorreactor REFA-EZ continuo de 3 columnas (32).

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).

**Tabla 14.** Remoción del consorcio en reactor RAEFA-EZ (32).

	Tiempo	Absorbancia	[Cu] (mg·L <sup>-1</sup> )	Remoción (mg·L <sup>-1</sup> )	%
Columna 1	T0 0 horas	0,2571	121,2403	-	-
	T1 18 Hora H1	0,2299	109,3042	11,9361	9,8445
	T2 36 Hora H2	0,1728	84,1840	37,0563	30,5643
Columna 2	T3 48 Hora H1	0,1197	60,8237	60,4166	49,8322

**Tabla 14 (Cont).** Remoción del consorcio en reactor RAEFA-EZ (32).

		Hora				
	<b>T4</b>	72 H2	0,1292	64,9990	56,2413	46,3838
<b>Columna 3</b>	<b>T5</b>	Hora 84 H2	0,0940	49,4916	71,7487	59,1789
	<b>T6</b>	Hora 96 H1	0,0312	21,8693	99,3710	81,9621
	<b>T7</b>	Hora 112 H2	0,0405	25,9732	95,2671	78,5771
	<b>T8</b>	Hora 132 H2	0,0224	17,9840	103,2563	85,1667

H1 y H2 se refieren a las 2 alturas en las columnas para la toma de muestras

Fuente: \* Castilla Colpaert, Danery Katherine, y Carrillo Monteagudo, Edgar Daniel. 2014. Determinación y Selección de un Consorcio de Microorganismos Nativos de Relaves Mineros, Capaces de Remover Cu (II) de una Solución Mineral Sintética en un Biorreactor Raefa-Ez (32).

La remoción empleando el mencionado consorcio de cepas en un biorreactor de RAEFA-EZ demostró que remueve 103.06 mg/L de una muestra con 121.2403 mg/ o un 85.17% de Cu en 132 horas a temperatura ambiente (32).

**d) Remoción de Cu y Cd en suelo contaminada con *Corynebacterium spp* y *Pseudomona aeruginosa* inmovilizado**

Empleando un consorcio bacteriano de *Corynebacterium spp* y *Pseudomona aeruginosa* para la remoción de Cu y Cd, las condiciones óptimas de crecimiento son de salinidad 7%, pH 7 y temperatura 37 °C, muestra que al tener una concentración inicial de 10 ppm se remueve 97.08% de Cu y 99% de Cd, al encontrarse en una concentración a tiempo 0 del ensayo de 100 ppm se remueve 62.7% de Cu y 10.1% de Cd (33).

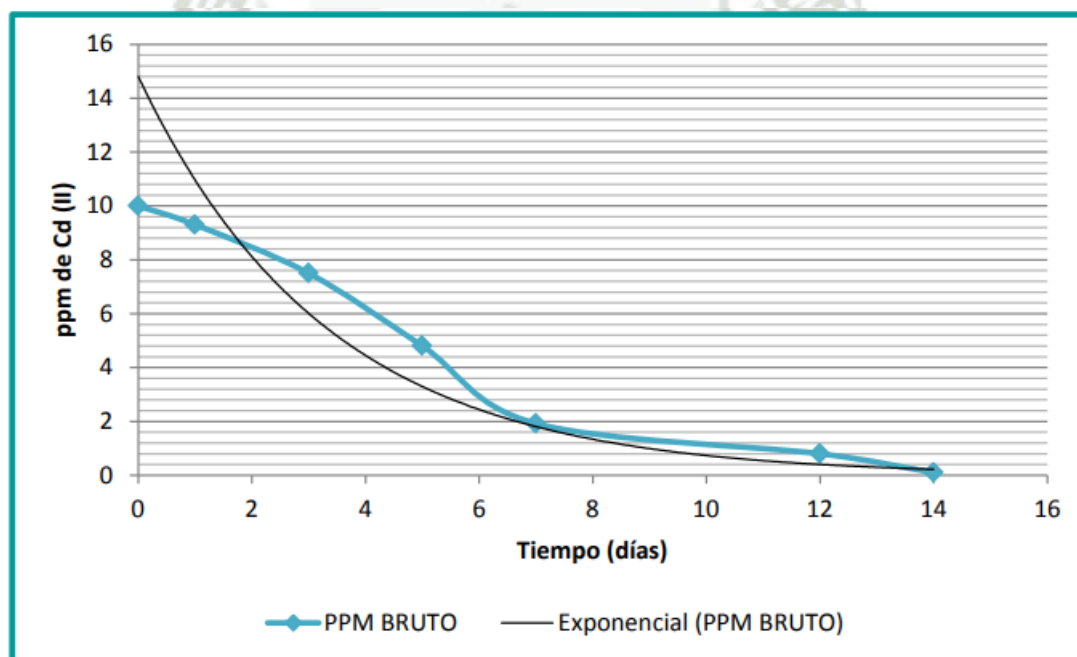
Empleando inmovilización celular con alginato de Ca, al centrifugar 10 mL de inóculo de *Corynebacterium spp* y *Pseudomona aeruginosa* a 3000 rpm durante 2 minutos, elimina sobrenadante y se suspende el sedimento hasta obtener 0.5 g de cultivo bacteriano/sistema, con la producción de una solución de un volumen total de 50 mL al 2.5% de alginato de Na, se agrega el sedimento bacteriano y se agita, paralelamente se prepara 100 mL de CaCl<sub>2</sub> al 0.2 M a temperatura ambiente, dejando caer por medio de una pipeta a goteo continuo desde 10 cm de altura el inóculo de alginato, formando perlas de 1 a 2 mm de alginato de Ca y completando su formación en solución de CaCl<sub>2</sub> por 10 minutos. Estas perlas se depositan en 150 mL de medio PTYG (peptona, tripticasa, extracto de levadura y glucosa) contaminado

con 10 o 100 ppm de Cu o Cd, bajo agitación orbital por 15 días a 37 °C y pH 7 (33).

**Tabla 15.** Tabla de remoción de Cd (II) a pH 7 y 37°C (33).

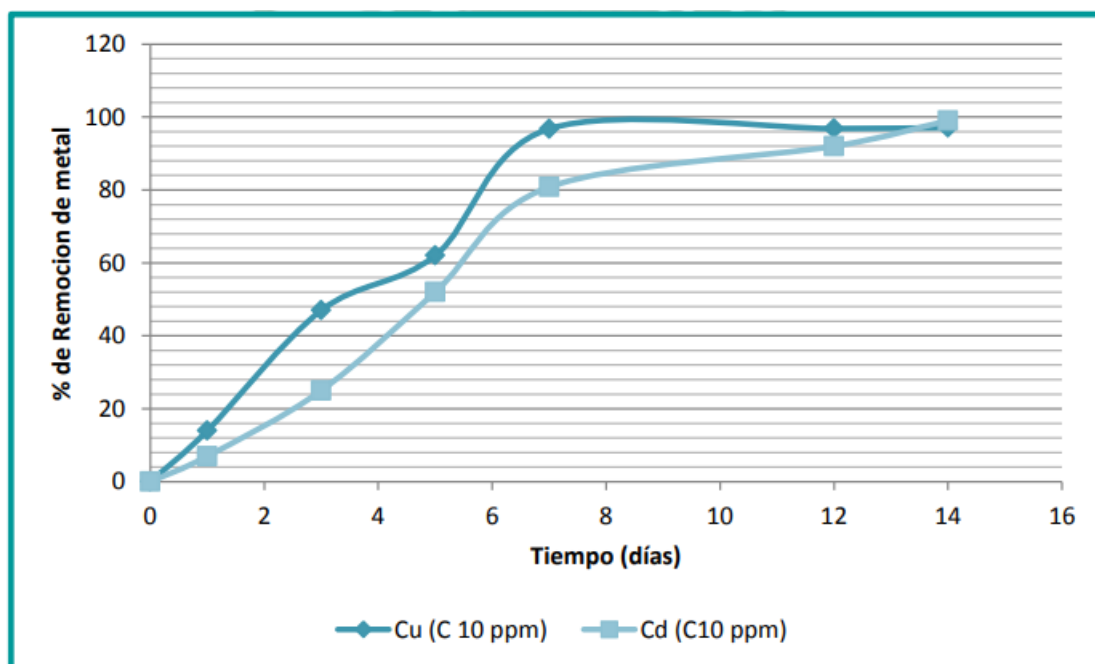
Tiempo (días)	PPM Bruto	Porcentaje de Remoción (%)
0	10	0
1	9.3	7
3	7.5	25
5	4.8	52
7	1.92	80.8
12	0.8	92
14	0.1	99

Fuente: \* Rondan Rosas, Claudia Ibeth, y Rondan Rosas, Claudia Ibeth. 2014. Caracterización de Cepas Bacterianas Halófilas, Inmovilización y Evaluación de la Capacidad de Remoción de Cu (II) y Cd (II) (33).



**Fig 15.** Grafica de disminución de concentración de Cd (II) (33).

Fuente: \* Rondan Rosas, Claudia Ibeth, y Rondan Rosas, Claudia Ibeth. 2014. Caracterización de Cepas Bacterianas Halófilas, Inmovilización y Evaluación de la Capacidad de Remoción de Cu (II) y Cd (II) (33).



**Fig 16.** Grafica de comparación de concentración de Cu (II) y Cd /II) (33).

Fuente: \* Rondan Rosas, Claudia Ibeth, y Rondan Rosas, Claudia Ibeth. 2014. Caracterización de Cepas Bacterianas Halófilas, Inmovilización y Evaluación de la Capacidad de Remoción de Cu (II) y Cd (II) (33).

**e) Fitorremediación con *Chenopodium album* “Liccha” hallada en agua contaminada con arsénico**

La máxima bioacumulación por parte de la especie comúnmente conocida como liccha fue alcanzada a los 20 días, siendo que en el área radicular se concentró hasta 694.8 mg/kg, y en la parte aérea se concentró 1050.4 mg/kg (36).



**Fig 17.** *Chenopodium album* L. “Liccha” (36).

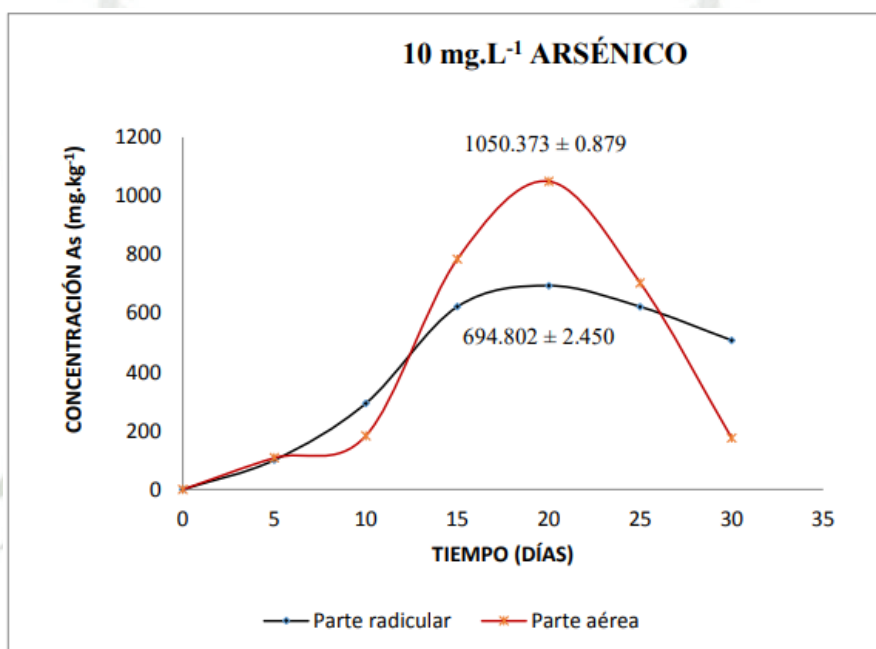
Fuente: \* Flores Calla, Susan Sofia. 2018. Determinación de la Capacidad Fitorremediadora De *Chenopodium album* (Liccha), en Agua Sintética Contaminada con Arsénico (36).

**Tabla 16.** Adaptación de Liccha (36)

Tratamientos	5 días	10 días	15 días
T1*	Sin síntomas	Sin síntomas	Sin síntomas
T2†	Clorosis	Clorosis	Marchitamiento
T3‡	Marchitamiento y necrosis	-	-

(\*) 25 %, (†) 50 %, (‡) 100 %.

Fuente: \* Flores Calla, Susana Sofia. 2018. Determinación de la Capacidad Fitorremediadora De *Chenopodium album* (Liccha), en Agua Sintética Contaminada con Arsénico (36).



**Fig 18.** Curva de bioacumulación de As a nivel radicular y aéreo. (36)

Fuente: \* Flores Calla, Susana Sofia. 2018. Determinación de la Capacidad Fitorremediadora De *Chenopodium album* (Liccha), en Agua Sintética Contaminada con Arsénico (36).

**Tabla 17.** Escala de toxicidad (36)

Grados de toxicidad	Descripción
Grado 1 (G1)	P. radicular: No se observaron síntomas. P. aérea: No se observaron síntomas.
Grado 2 (G2)	P. radicular: No se observaron síntomas. P. aérea: Tercio inferior con áreas cloróticas; tercio medio y superior sin síntomas.
Grado 3 (G3)	P. radicular: No se observaron síntomas. P. aérea: Tercio inferior con clorosis y/o arrugamiento de hojas; tercio medio con áreas cloróticas.
Grado 4 (G4)	P. radicular: No se observaron síntomas. P. aérea: Tercio inferior con inicios de senescencia; tercio medio con clorosis y arrugamiento; tercio superior sin síntomas.

**Tabla 17 (Cont).** Escala de toxicidad (36)

Grado 5 (G5)	P. radicular: No se observaron síntomas. P. aérea: Tercio inferior con senescencia total y abscisión de hojas; tercio medio con senescencia y formación de nuevos brotes axilares; tercio superior con brotes.
Grado 6 (G6)	P. radicular: No se observaron síntomas. P. aérea: Tercio inferior con senescencia total y abscisión de hojas; tercio medio y superior con senescencia completa y abscisión de hojas.

Fuente: \* Flores Calla, Susan Sofia. 2018. Determinación de la Capacidad Fitorremediadora De *Chenopodium album* (Liccha), en Agua Sintética Contaminada con Arsénico (36).

**Tabla 18.** Bioacumulación de As a nivel radicular y aérea (36)

Tiempo (*)	P. Radicular (†)	P. Aérea (‡)
0	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
5	100.303 ± 1.443	107.500 ± 0.682
10	293.610 ± 0.748	182.857 ± 0.036
15	622.989 ± 0.995	784.856 ± 1.201
20	694.802 ± 2.450	1050.373 ± 0.879
25	622.895 ± 2.605	703.980 ± 1.759
30	508.421 ± 4.466	175.000 ± 2.357

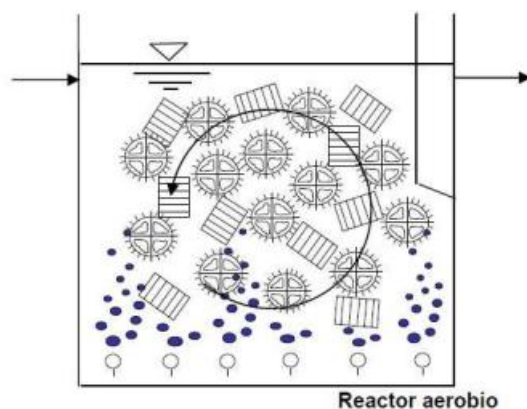
n = 3 (3 muestras); (\*) tiempo expresado en días; (†) y (‡): concentración del metal en la planta expresada en  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Fuente: \* Flores Calla, Susan Sofia. 2018. Determinación de la Capacidad Fitorremediadora De *Chenopodium album* (Liccha), en Agua Sintética Contaminada con Arsénico (36).

Empleando plántulas de Liccha de 30 días de propagación en un sistema de aeroponía, con la disposición de tubos difusores los cuales permanecen conectados a bombas peristálticas que permiten burbujear el aire manteniendo un constante movimiento en el sistema, y empleando bandejillas de 10 plántulas de 7 cm de altura (36).

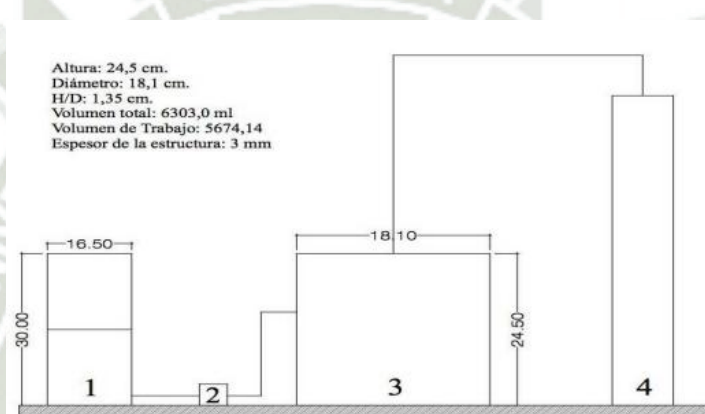
#### **f) Biodepuración de arsénico en agua contaminada usando un biorreactor de lecho móvil (MBBR) con carga bacteriana extremófila**

Se emplea un consorcio de cepas bacterianas extremófilas de *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *B. lentus*, *B. cereus*, *Pseudomona spp* y *Pleisomona spp* en un reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR), que logra biodepurar parcialmente el 16.08% de arsénico luego de 24 horas (38).



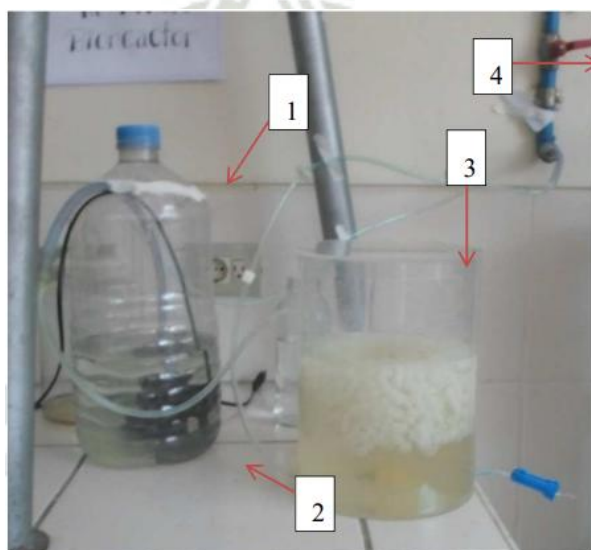
**Fig 19.** Esquema de biorreactor de lecho móvil (66)

Fuente: \* Alvarez M, Mavares D., Construcción de Reactor Biopelícula con Soportes Móviles y Membranas para el Tratamiento de Aguas Residuales (66).



**Fig 20.** Configuración experimental: (1) tanque de almacenamiento de agua; (2) bomba dosificadora; (3) reactor MBBR; y (4) tanque presurizado (66).

Fuente: \* Alvarez M, Mavares D., Construcción de Reactor Biopelícula con Soportes Móviles y Membranas para el Tratamiento de Aguas Residuales (66).



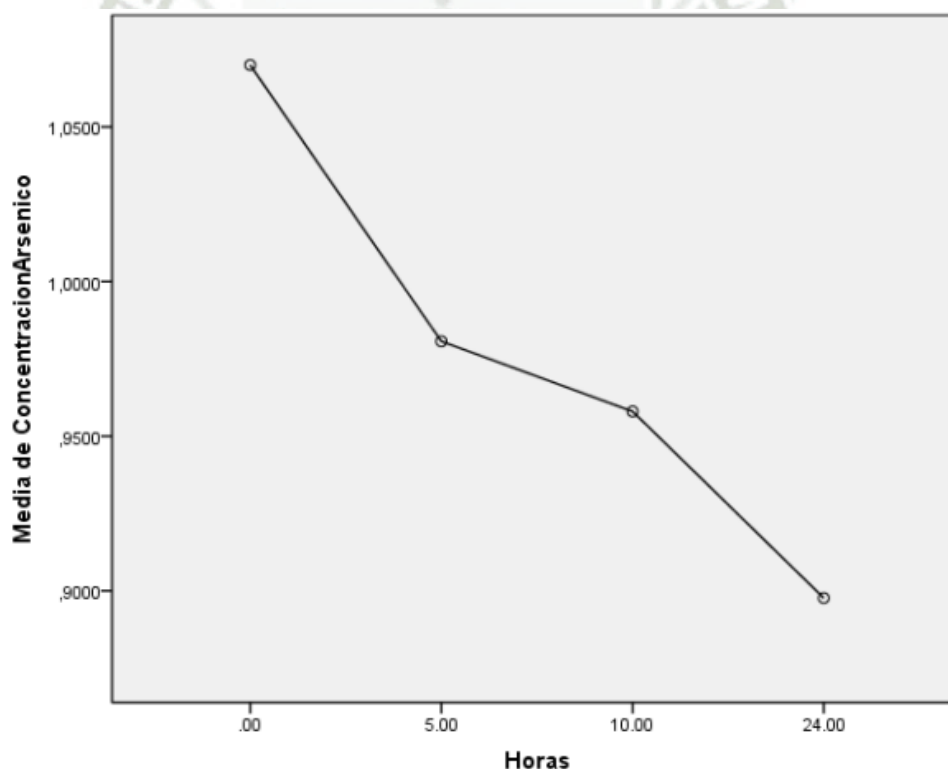
**Fig 21.** Sistema configurado para reducir concentración de As en agua. (38).

Fuente: \* Rebaza Peñafiel, Rosmary, y Rodríguez Rivera, Begonia Lucía. 2014. Biodepuración Parcial de Arsénico de Aguas Contaminadas Usando Biorreactor de Lecho Móvil (Mbbr) con Carga Bacteriana Extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013 (38).

**Tabla 19.** As reducido en agua (38).

Tiempo de retención (horas)	Concentración de arsénico reducido (ppm)	Porcentaje de reducción (%)
0	0	0
5	0,089	8,32
10	0,112	10,47
24	0,172	16,08

Fuente: \* Rebaza Peñafiel, Rosmary, y Rodríguez Rivera, Begonia Lucía. 2014. Biodepuración Parcial de Arsénico de Aguas Contaminadas Usando Biorreactor de Lecho Móvil (Mbbr) con Carga Bacteriana Extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013 (38).



**Fig 22.** Curva de reducción de As en agua (38).

Fuente: \* Rebaza Peñafiel, Rosmary, y Rodríguez Rivera, Begonia Lucía. 2014. Biodepuración Parcial de Arsénico de Aguas Contaminadas Usando Biorreactor de Lecho Móvil (Mbbr) con Carga Bacteriana Extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013 (38).



**Fig 23.** Soportes PEDH y formación de biopelículas (38).

Fuente: \* Rebaza Peñafiel, Rosmary, y Rodríguez Rivera, Begonia Lucía. 2014. Biodepuración Parcial de Arsénico de Aguas Contaminadas Usando Biorreactor de Lecho Móvil (Mbbr) con Carga Bacteriana Extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013 (38).

**Tabla 20.** Comparación de características fisicoquímicas antes y después de tratamiento. (38).

Parámetro	Antes del tratamiento	Con 24 horas de tratamiento	LMP (*)
pH, unidad de pH	7,38	6,98	6,5 – 8,5
Temperatura (°C)	11,46	10,23	-
Conductividad (µS/cm)	1226	997	1500
STD (mg/L)	613	498	1000
% Sal	0,61	0,40	-
OD (mg/L)	3,0	2,8	-
<b>Turbiedad (UNT) (**)</b>	110	115	5
<b>Cloruros (mg/L)</b>	650,25	633,6	250
<b>Sulfatos (mg/L)</b>	616,74	648,8	250
<b>Dureza total (mg/L)</b>	695,38	634,1	500

(\*) LMP: Límite Máximo Permissible.

(\*\*) Parámetros que superan los límites permitidos según la normativa.

Fuente: \* Rebaza Peñafiel, Rosmary, y Rodríguez Rivera, Begonia Lucía. 2014. Biodepuración Parcial de Arsénico de Aguas Contaminadas Usando Biorreactor de Lecho Móvil (Mbbr) con Carga Bacteriana Extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013 (38).

Se empleó acrílico como material de fabricación, con el establecimiento de una entrada de aire y una de alimentación, así como un punto de toma de muestra, el sistema de aireación

empleando un difusor, el mismo que se encuentra ubicado en la base del reactor, en conjunto con el aire comprimido, mientras que el sistema de alimentación conlleva el uso de una bomba enlazada a las tuberías, y al sistema de almacenamiento inicial, finalmente el sistema de lecho móvil utiliza el polietileno de alta densidad como soporte móvil (0.7 cm de alto, 1 cm de diámetro y una superficie de  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) (38).

El ensamblaje se realiza con un previo acondicionamiento del área en donde se establecerá el reactor, se instala las tuberías y conexiones para el sistema de aireación, el cual cubre toda la superficie del fondo del reactor, con el compresor como fuente hacia el reactor, mientras que las tuberías y conexiones son de plástico, por otro lado mangueras tienen un diámetro de 0.5 cm, mientras que el reactor se alimenta por medio de una bomba que succiona agua del tanque de alimentación. La biomasa para emplearse se obtuvo por medio de los inóculos, 350 mL de cada cepa en incubación a  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 horas, usando un soporte de semillero con 1700 mL de caldo nutritivo con previo autoclavado, incubando por 4 semanas, con un flujo de 150 L por hora (38).

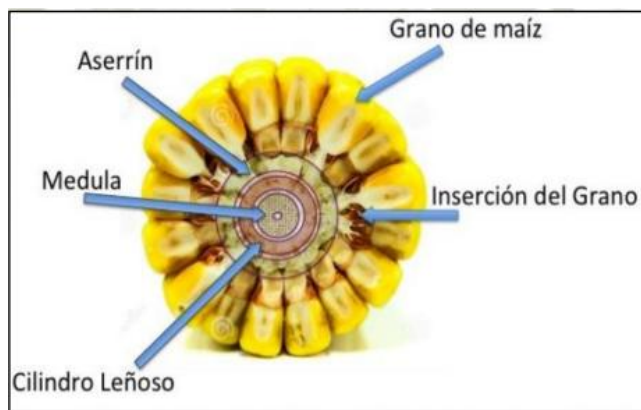
**g) Remoción de As total en agua contaminada con residuos biomásicos de marlo maíz**

Empleando tamaños de partícula que se encuentren en un rango de 250-150  $\mu\text{m}$  de marlo de maíz, con el uso de un agente activante (3g de permanganato de potasio a pH 4). Logrando un rendimiento de remoción del 80.42% a pH 4 (39).

**Tabla 21.** Proporción de componentes de planta de maíz (67)

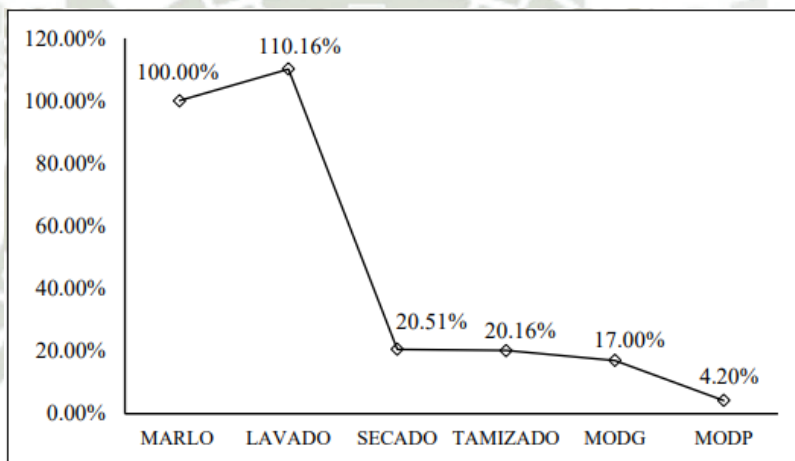
Componente	Porcentaje del peso seco del maíz
Panoja	12,0
Tallos	17,6
Chalas	8,9
<b>Total caña</b>	<b>38,5</b>
Mazorca	11,8
Grano	49,7
<b>Total espiga</b>	<b>61,5</b>

Fuente: \* Monterola H, CerdaD, Mira J. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes 1999 (67).



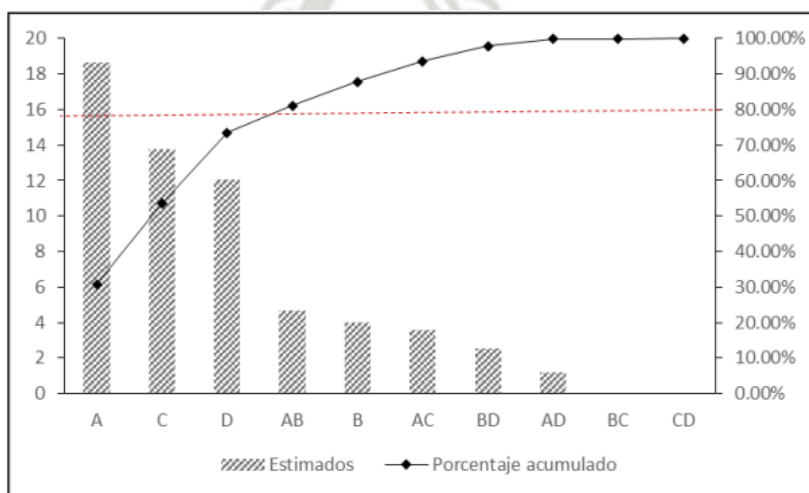
**Fig 24.** Componentes del marlo de maíz (68).

Fuente: \* Miranda R.; Producción de absorbentes de hidrocarburos a partir del marlo de maíz, provincia de Salta-Argentina 2017 (68).



**Fig 25.** Rendimiento de pretratamiento de residuo biomásicos (39).

Fuente: \* Neyra Paredes, Iris Alexandra, y Portilla Rivas, Javier Jesús. 2021. Evaluación y optimización de la remoción de arsénico total en medio acuoso sobre residuos biomásicos de marlo de maíz ( Zea mays) inertes y modificados con dióxido de manganeso (39).



**Fig 26.** Diagrama de Pareto para la remoción de As (39).

Fuente: \* Neyra Paredes, Iris Alexandra, y Portilla Rivas, Javier Jesús. 2021. Evaluación y optimización de la remoción de arsénico total en medio acuoso sobre residuos biomásicos de marlo de maíz ( *Zea mays*) inertes y modificados con dióxido de manganeso (39).

**Tabla 22.** Comparación para porcentaje de remoción de As mediante HSD Turkey (39).

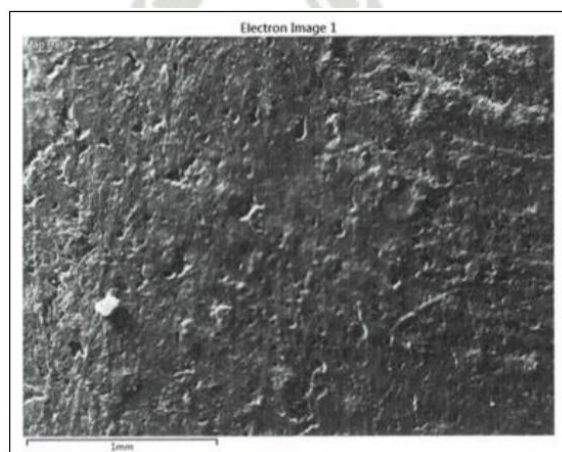
Variable	Nivel de la variable	% Remoción
Tamaño	Pequeño	80,42 <sup>a</sup>
	Grande	67,67 <sup>b</sup>
Modificación	Sin modificar	68,0 <sup>b</sup>
	Modificado	80,08 <sup>a</sup>

Fuente: \* Neyra Paredes, Iris Alexandra, y Portilla Rivas, Javier Jesús. 2021. Evaluación y optimización de la remoción de arsénico total en medio acuoso sobre residuos biomásicos de marlo de maíz ( *Zea mays*) inertes y modificados con dióxido de manganeso (39).

**Tabla 23.** Valor optimo dé % de remoción de As (39).

Factor	Bajo	Alto	Óptimo codificado	Óptimo real	% de remoción óptimo
Cantidad adsorbente	-1,4142	1,4142	1,4142	3,40	94,30 %
pH	-1,4142	1,4142	-0,455078	4,08	—

Fuente: \* Neyra Paredes, Iris Alexandra, y Portilla Rivas, Javier Jesús. 2021. Evaluación y optimización de la remoción de arsénico total en medio acuoso sobre residuos biomásicos de marlo de maíz ( *Zea mays*) inertes y modificados con dióxido de manganeso (39).



**Fig 27.** Residuo biomásicos de fracción pequeña con presencia de As en microscopia

electrónica. (39).

Fuente: \* Neyra Paredes, Iris Alexandra, y Portilla Rivas, Javier Jesús. 2021. Evaluación y optimización de la remoción de arsénico total en medio acuoso sobre residuos biomásicos de marlo de maíz ( *Zea mays*) inertes y modificados con dióxido de manganeso (39).

Empleando el uso de los residuos de carácter biomásico del marlo de maíz (especies Chullpi y Arequipeño), los cuales se lavan con agua destilada, se trituran mecánicamente en molino de mano y luego pasando por estufa para secado, luego se coloca en procesadora de alimentos para ser tamizado con el N° 60 y 100. El recubrimiento con dióxido de magnesio se realiza colocando 20 g de la muestra a tamizar con 200 mL de permanganato de potasio al 2 %, mezclando en un agitador magnético con calentador por 60 minutos a 60 °C, se filtra y se enjuaga con agua destilada, luego de obtener un lavado traslucido, el precipitado se coloca en estufa a 60°C por 24 horas para secado. Empleando un equipo de prueba de jarras y 1 gr de biomasa modificada con 200 mL de agua contaminada con 0.5 mg/L (39).

#### h) Fitoextracción de Pb en suelo usando *Schinus molle* en adición de fertilizante

Realizando el proceso de Fitoextracción sin ausencia de fertilizante, se evidencia un incremento de la acumulación de Pb en raíces, reportando un índice de concentración en toda la planta de 66.29% (40).



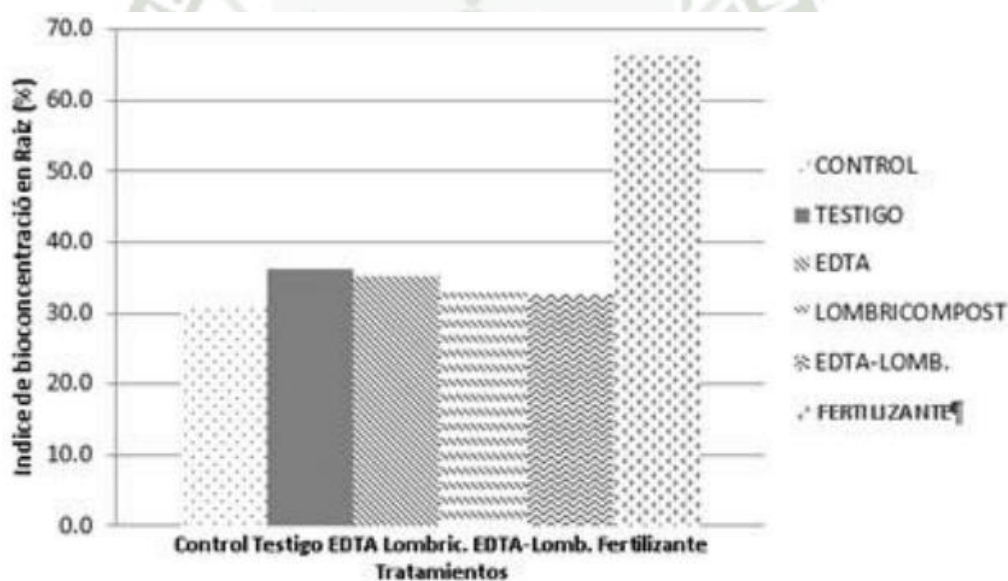
**Fig 28.** Comparación de crecimiento de *Schinus molle* con distintos tratamientos (40).

Fuente: \* Alfaro Campos, Jim Manuel, y Del Carpio Condori, Guillermo Arturo. 2016. Influencia del EDTA, Fertilizante y Lombricompost en el Mejoramiento de la Fitoextracción de Plomo Utilizando Plantas de Schinus Molle y Su Relación con el Crecimiento y Respuesta Fisiológica, Arequipa, 2015 (40).

**Tabla 24.** Concentración de Pb en cada sección de acuerdo con el tratamiento (40).

Plomo ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Suelo	Raíz	Tallo	Hoja
CONTROL	6,25	1,92	<0,2	<0,2
TESTIGO	9,6	3,48	<0,2	<0,2
EDTA	10,13	3,57	<0,2	<0,2
LOMBRICOMPOST	10,75	3,54	<0,2	<0,2
EDTA-LOMB.	10,66	3,48	<0,2	<0,2
FERTILIZANTE	9,79	6,49	<0,2	<0,2

Fuente: \* Alfaro Campos, Jim Manuel, y Del Carpio Condori, Guillermo Arturo. 2016. Influencia del EDTA, Fertilizante y Lombricompost en el Mejoramiento de la Fitoextracción de Plomo Utilizando Plantas de Schinus Molle y Su Relación con el Crecimiento y Respuesta Fisiológica, Arequipa, 2015 (40).



**Fig 29.** Índice de bioconcentración en raíces de plántulas de acuerdo con los tratamientos (40).

Fuente: \* Alfaro Campos, Jim Manuel, y Del Carpio Condori, Guillermo Arturo. 2016. Influencia del EDTA, Fertilizante y Lombricompost en el Mejoramiento de la Fitoextracción de Plomo Utilizando Plantas de Schinus Molle y Su Relación con el Crecimiento y Respuesta Fisiológica, Arequipa, 2015 (40).

Se usaron plántulas de 6 semanas de edad, adicionando al suelo contaminado fertilizante 5g/L (Nitromax), luego de obtener una longitud de 30 cm hasta las 21 semanas para luego ser retiradas (40).

**i) Uso optimizado de carbón activado a partir de cascarilla de arroz en adsorción de Cromo**

Empleando ácido fosfórico para la producción de carbón activado se obtuvo un rendimiento del 63.74%, siendo que el porcentaje de remoción es de 89.33% luego de 4 horas frente a contaminación de 5 ppm de Cr VI, siendo 78.85 mg de carbón activado/g de Cr VI (45).

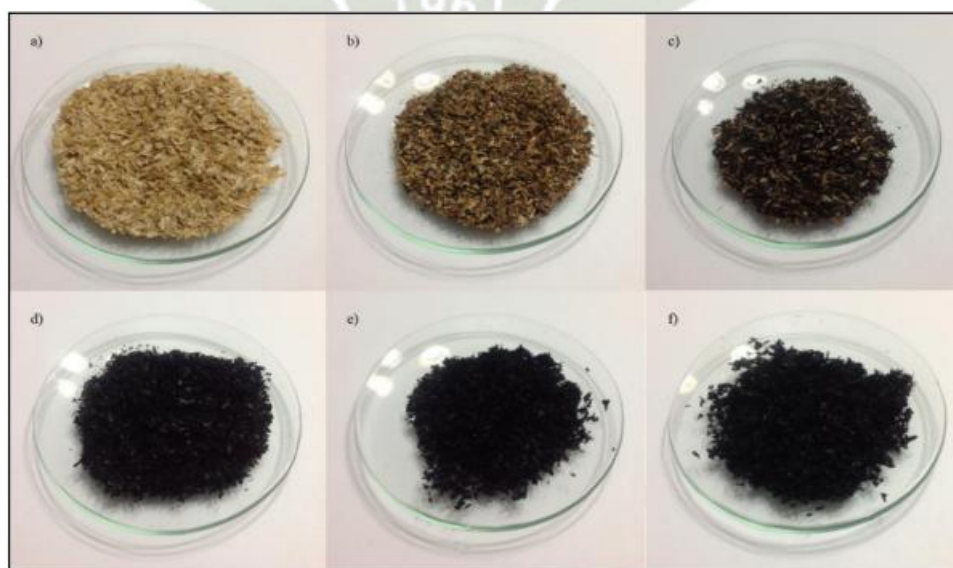
Usando cascarilla de arroz seca, lavado con abundante agua destilada, secado en horno a 110 °C por 1 hora y 30 minutos, moler y tamiza (N° 20) obteniendo un tamaño de 0.850 mm. Luego se realiza la impregnación de 100mL de ácido fosfórico al 40% en un matraz con 20 g de la cascarilla pretratada (relación de 2 g de agente activante/g de cascarilla pretratada), se colocó en sonicación por 1 hora a ultrasonido 50/60 Hz, eliminando el exceso por decantación y filtración para secar a 110 °C por 1 noche (45).

**Tabla 25.** Análisis de la cascarilla de arroz (45).

	% Humedad	% Materia volátil <sup>dw</sup>	% Cenizas <sup>dw</sup>	% Carbón fijo <sup>dw</sup>
<b>1</b>	4,40	64,17	20,99	14,85
<b>2</b>	4,73	64,30	20,18	15,52
<b>Promedio</b>	4,57	64,23	20,58	15,18

dw: base seca.

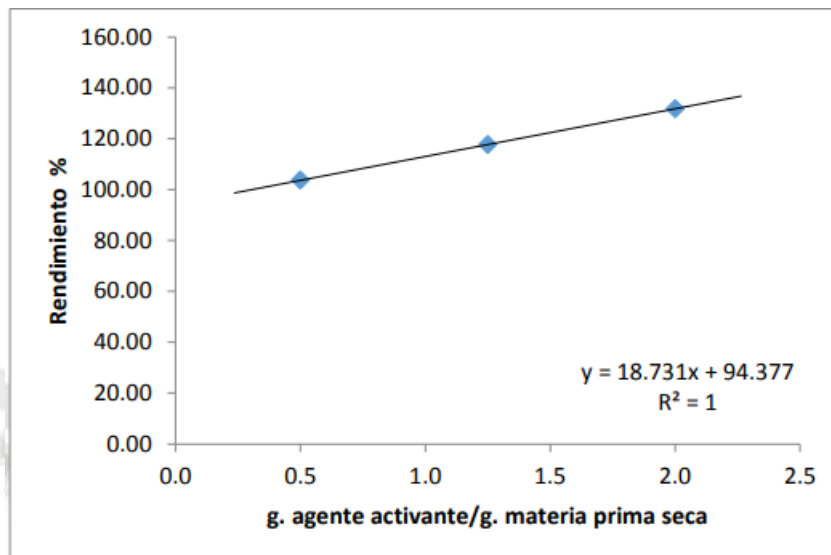
Fuente: \* Manrique Pino, Pamela Lizeth. 2014. Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Cascarilla de Arroz y Su Uso en la Adsorción de Cromo (VI) (45).



**Fig 30.** Cambios físicos en cascarilla de arroz por impregnación con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; a) tamizada

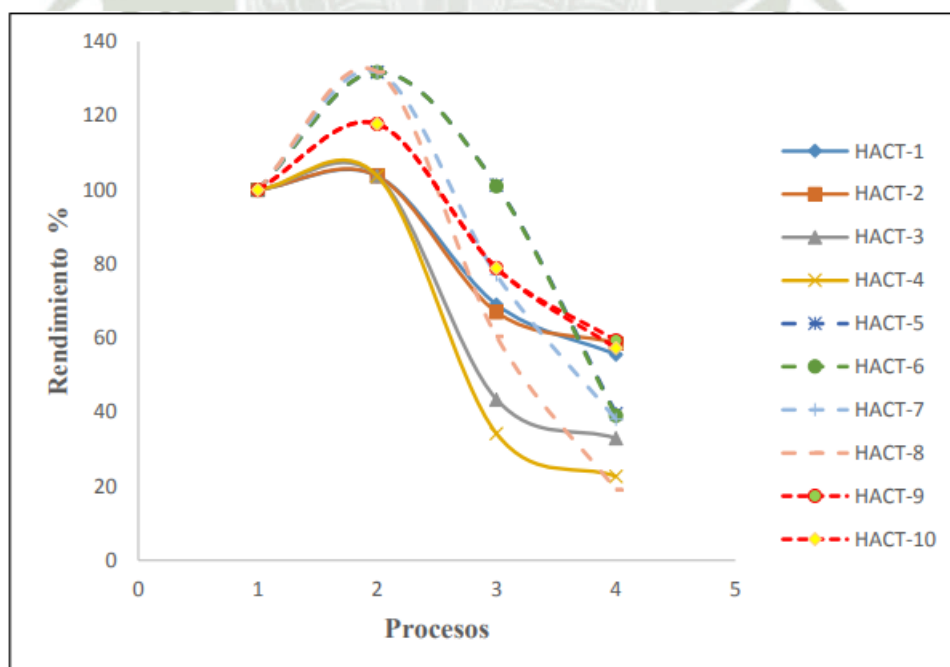
sin impregnar, b) tratada con 0.25gAA/gMP, c) tratada con 0.5gAA/gMP, d) tratada con 1.25gAA/gMP, e) tratada con 2gAA/gMP y f) tratada con 2.26gAA/gMP (45).

Fuente: \* Manrique Pino, Pamela Lizeth. 2014. Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Cascarilla de Arroz y Su Uso en la Adsorción de Cromo (VI) (45).



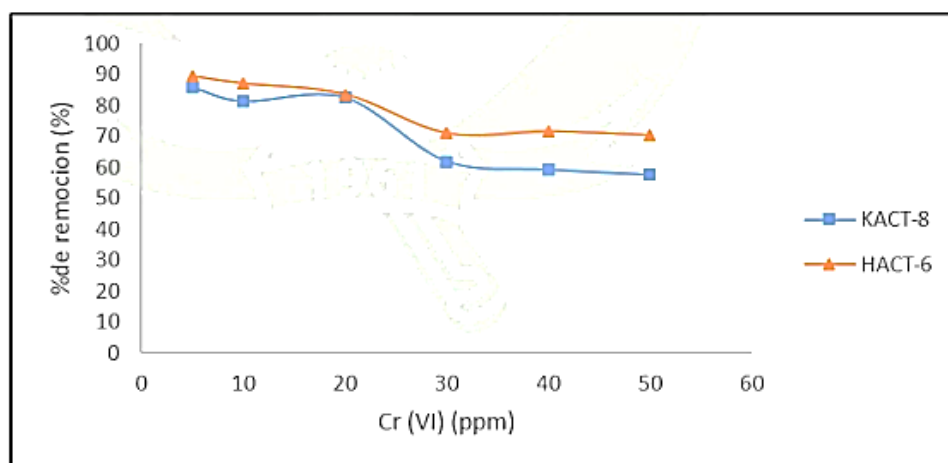
**Fig 31.** Grafica de rendimiento por impregnacion con  $H_3PO_4$  (45).

Fuente: \* Manrique Pino, Pamela Lizeth. 2014. Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Cascarilla de Arroz y Su Uso en la Adsorción de Cromo (VI) (45).



**Fig 32.** Evolucion del rendimiento en produccion de carbon activado con  $H_3PO_4$  (45).

Fuente: \* Manrique Pino, Pamela Lizeth. 2014. Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Cascarilla de Arroz y Su Uso en la Adsorción de Cromo (VI) (45).



**Fig 33.** Remoción de Cr (VI) (45).

Fuente: \* Manrique Pino, Pamela Lizeth. 2014. Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Cascarilla de Arroz y Su Uso en la Adsorción de Cromo (VI) (45).

La carbonización se dio en mufla bajo 1 atmosfera de presión, a 359°C por 1.8 horas. se lava el producto a reflujo con HCl al 5% por 1 hora, luego se emplea agua destilada a baja temperatura hasta obtener un pH en el rango de 6 - 7, se realiza un secado por 48 horas a 110°C. La remoción es por adsorción en isotermas, el cual es un sistema compuesto por beakers que contienen múltiples diluciones de Cr IV, luego de alcanzar concentraciones seriadas de 5, 10, 20, 30, 40 y 50 ppm y se homogeniza por 1 minuto, luego se agrega 100 mg del carbón activado, en agitación a 200 rpm a 20 °C por 240 minutos (45).

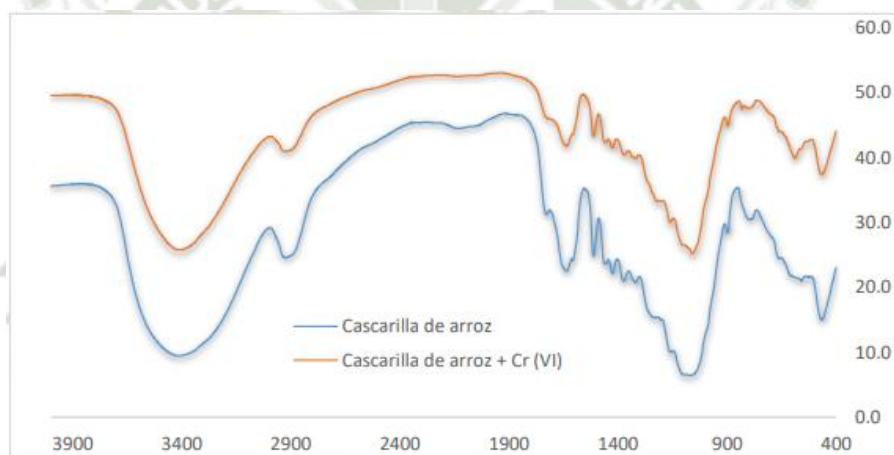
#### **j) Biosorción de Cr en agua contaminada usando residuos agroindustriales de cascarilla de arroz y chala de maíz**

Se obtiene una remoción superior al 90% de Cr VI en una proporción 75:25 entre residuos de chala y cascarilla de arroz respectivamente luego de 120 minutos, trabajando con partículas inferiores a 0.420 mm, a pH 2 en columna de PVC, tratando agua contaminada a 10 y 20 mg/L de Cr, gracias a la presencia de arena fina junto a la arena gruesa y en adición de grava la turbidez disminuye un 40% (46).



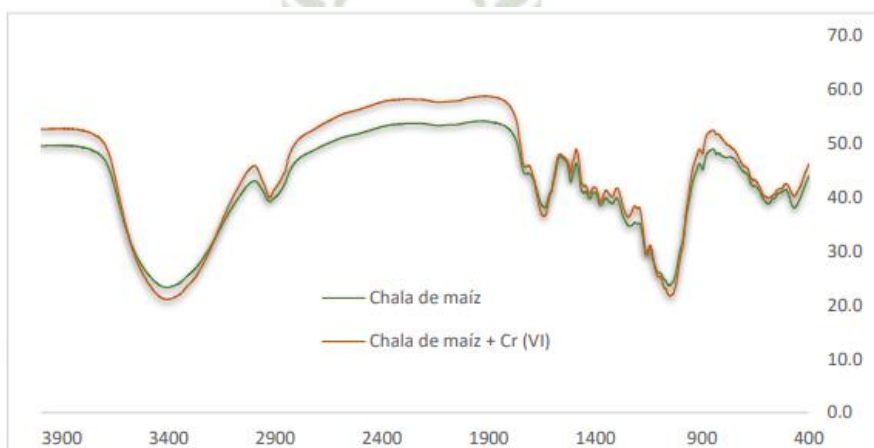
**Fig 34.** Cascarilla de arroz (A) y chala de maíz (B) (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).



**Fig 35.** Espectro FTIR-MIR para cascarilla de arroz (a) y cascarilla + Cr (r) (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).



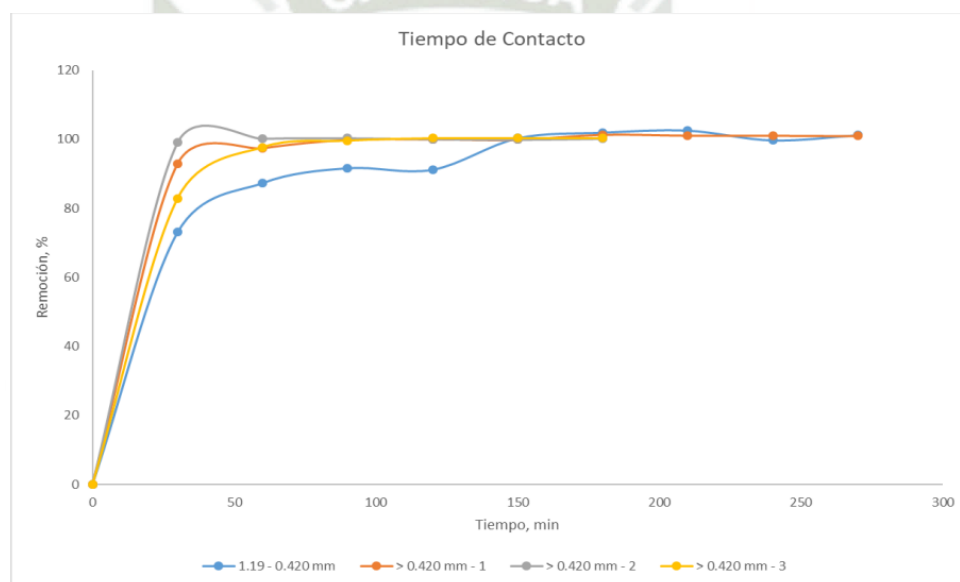
**Fig 36.** Espectro FTIR-MIR para chala de maíz (v) y chala + Cr (r) (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).

**Tabla 26.** Resultado en pH ácido (46).

Tiempo (minutos)	Absorbancia	Concentración (mg/L)	Remoción (%)
0	0,7300	10,4916	0,0000
1 - 120	0,0140	0,1388	95,9014
2 - 120	0,0050	0,0087	97,1069
3 - 120	0,0060	0,0231	96,9729

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).



**Fig 37.** De acuerdo a tiempo de contacto y tamaño de partícula (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).

**Tabla 27.** Tiempo en contacto con residuos tratados con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N (46).

Tiempo (minutos)	Absorbancia	Concentración (mg/L)	Remoción (%)
0	0,7070	11,2500	0,0000
30	0,4660	7,3377	34,7763
60	0,3930	6,1526	45,3102
90	0,2910	4,4968	60,0289
120	0,1730	2,5812	77,0563
150	0,1970	2,9708	73,5931
180	0,1470	2,1591	80,8081
210	0,1080	1,5260	86,4358
240	0,1240	1,7857	84,1270
270	0,0890	1,2175	89,1775

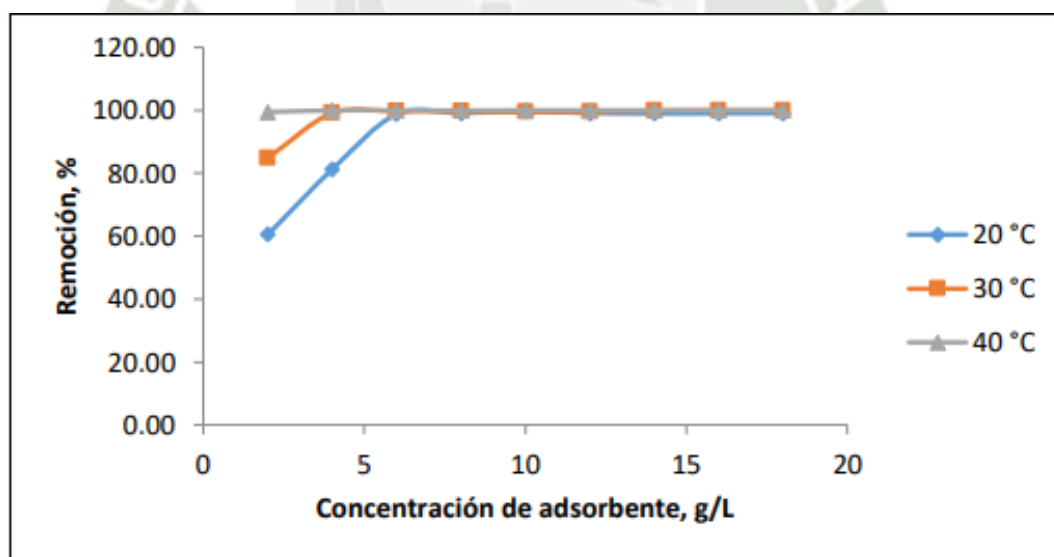
Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).

Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).



**Fig 38.** Biosorción de Cr (VI) (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).



**Fig 39.** De acuerdo a la concentración del biosorbente Cr (VI) (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).



**Fig 40.** Diseño de columna de filtración con residuos agroindustriales y componentes inorgánicos (46).

Fuente: \* Pacheco Portugal, Jonathan Daniel. 2019. Evaluación el Proceso de Biosorción de Cr (VI) Usando Residuos Agroindustriales de la Región Arequipa (Cascarilla de Arroz y Chala de Maíz) (46).

Los residuos agroindustriales fueron recolectados y triturados para tamizar (N°16 y 40), lavado con agua potabilizada y luego 2 lavados con agua destilada. Secado en mufla por 24 horas a 90°C. Se emplea 6 g de residuos por L de sustancia contaminada (residuos en 75/25 chala/arroz), en un sistema de filtrado en columna hecha de PVC la cual debe tener un diámetro de 8 cm y una altura de 10 cm, en adición de arena fina junto con arena gruesa y grava en cada compartimiento individualizado para reducir turbidez (46).

#### **k) Biosorción de Cr en agua contaminada empleando *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada**

Empleando residuos líquidos post-fermentativos de la industria cervecera se aisló la *S. cerevisiae*, en medio YPD por 24 horas a 37 °C. Obteniendo una remoción de 86.96% de Cr VI (47).

El sistema batch se construyó con una capacidad de 4 L, con 3 puertos en la tapa, uno para toma de muestra (19.2 cm con una jeringa de 20 mL), escape de gases (6.4 cm con un filtro de jeringa con membrana de 0.45 µm), y puerto de inoculación (12.8 cm), cada puerto tiene tubería de vidrio de 6 mm de diámetro con mangueras a cada extremo. Se uso 3.5 L de medio YPD, se inoculo con 10 mL de YPD con cepa en crecimiento (600 mg/L) por 2 días de incubación, se colecta 3 L de biomasa y se renueva con 3 L de sacarosa a 25 g/L. Se inmoviliza la biomasa con agar agar al 7.6% hasta ebullición para diluir, se enfrió hasta 40

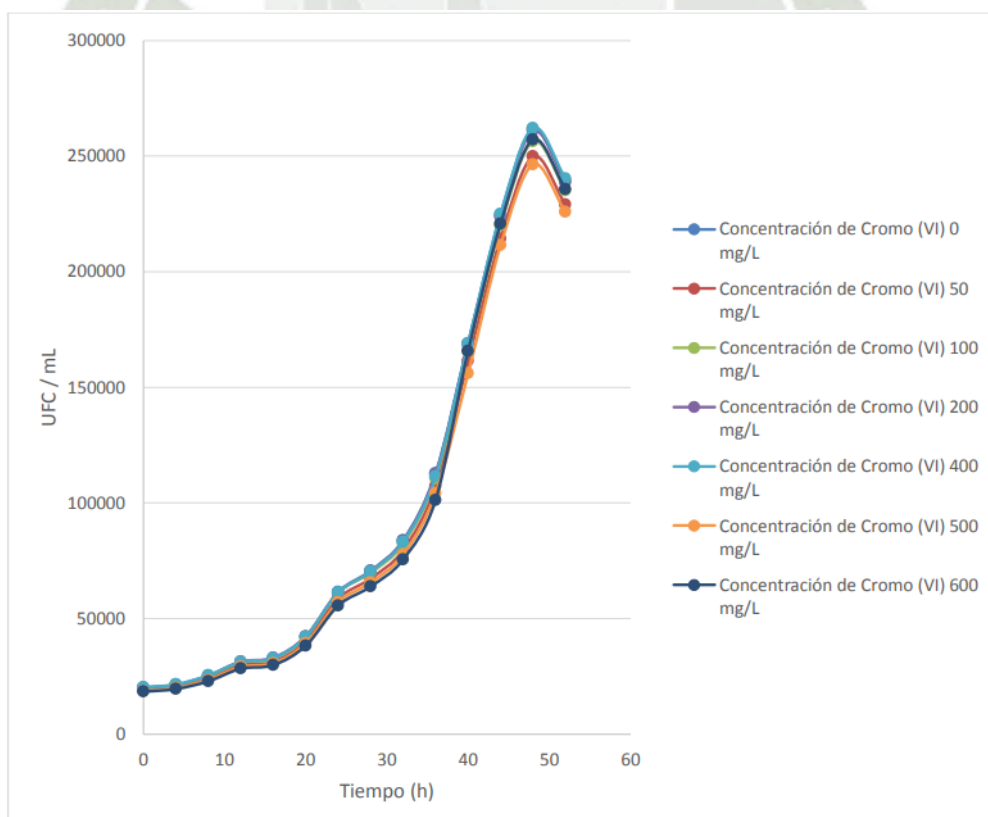
°C, se acondiciono a una concentración de 3.8% con biomasa en proporciones 1:1, se homogenizo y con una jeringa de 20 mL se realizó el goteo en una probeta con aceite refrigerado, luego se lavaron los pellets resultantes con detergente y agua destilada hasta obtener 18 L de pellets (47).



**Fig 41.** Cultivo de *Sacharomyces cerevisiae* en agar YPG (69).

Fuente: \* Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q.

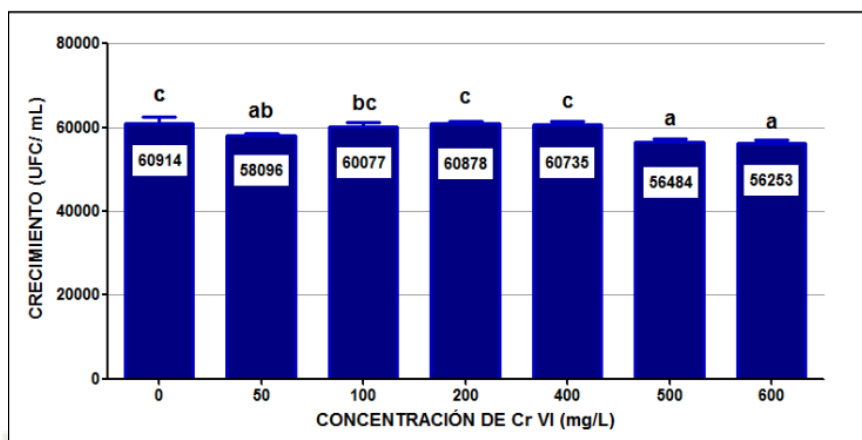
Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L (69).



**Fig 42.** Adaptación de *S. cerevisiae* frente a Cr (VI) en concentraciones variadas (47).

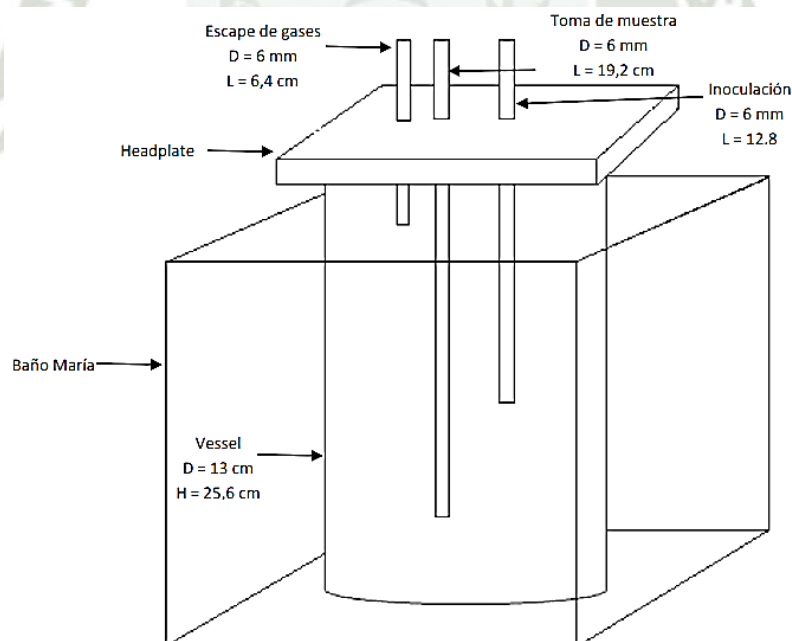
Fuente: \* Fernandez Chiara, Jehnny Georget, y Guzman Ponce, Katherine Susan. 2019. cromo 7

Bioadsorción de Cromo (VI) con *Saccharomyces Cerevisiae* Inmovilizada, Como Residuo de la Elaboración de la Cerveza, para su Aplicación en Biorremediación de Aguas Contaminadas de la Industria del Curtido, Arequipa 2016 (47).



**Fig 43.** Crecimiento versus Concentración (69).

Fuente: \* Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q. Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L (69).



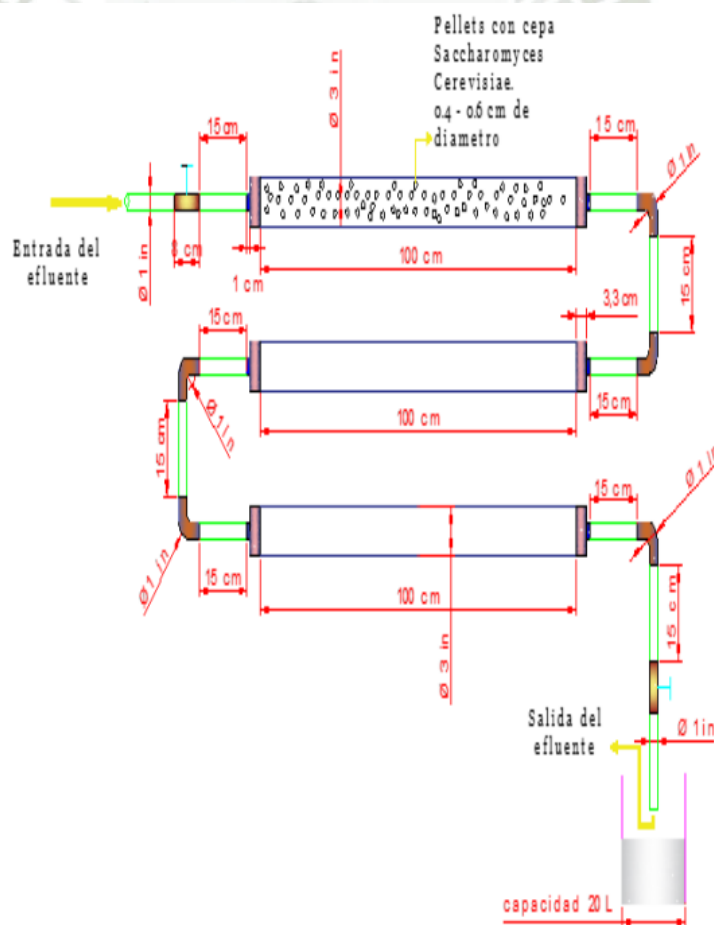
**Fig 44.** Sistema de Bach y parámetros (69).

Fuente: \* Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q. Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L (69).



**Fig 45.** Perlas de agar-agar con *S. cerevisiae* (69).

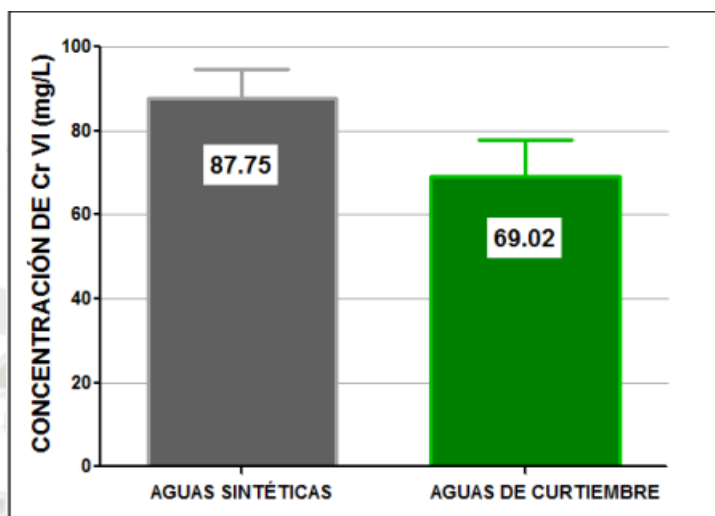
Fuente: \* Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q.  
Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium  
hyperaccumulator *Solanum nigrum* L (69).



**Fig 46.** PFTR de acuerdo con Bird (2002) y especificaciones (69).

Fuente: \* Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q.

Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L (69).



**Fig 47.** Concentración residual de Cr (VI), luego de remoción con PFTR y *S. cerevisiae* inmovilizada (69).

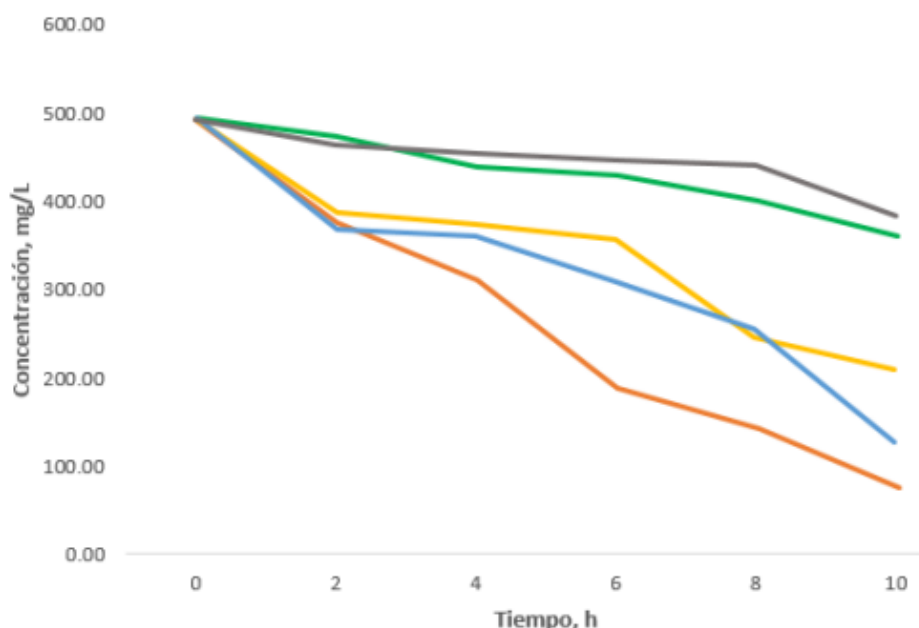
Fuente: \* Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q.

Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L (69).

El biorreactor de flujo pistón se construye con tubo PVC de una longitud de 3 m y un diámetro de 3 pulgadas, usando tapones hechos de plástico con 3 pulgadas de diámetro, 6 en total de ellos, además de 2 llaves de agua (llaves de paso), tubo de agua con 170 cm x 1 pulgada, 5 cintas teflón, además de 3 codos que tengan un diámetro de 1 pulgada, pegamento rojo para PVC, 3 uniones de 1 pulgada, 1 reducto de pulgada y media, tubo de ½ pulgada x 5 cm. Tubo cortado en 3 partes de 1 m cada una, el tubo de 1 pulgada se corta en 10 piezas de 15 cm cada una, colocando los codos en estos últimos, tapones con agujero de 1 pulgada de diámetro, se unió los tubos de 1 pulgada con los codos usando teflón y pegamento rojo, igual con las llaves de agua, los tubos de 1 pulgada con extremo libre se aseguraron a los tapones reforzados con tuercas (uniones), los tubos de 3 pulgadas se taparon sus extremos, en el extremo de una llave de agua acoplar un reductor y el tubo de ½ pulgada (47).

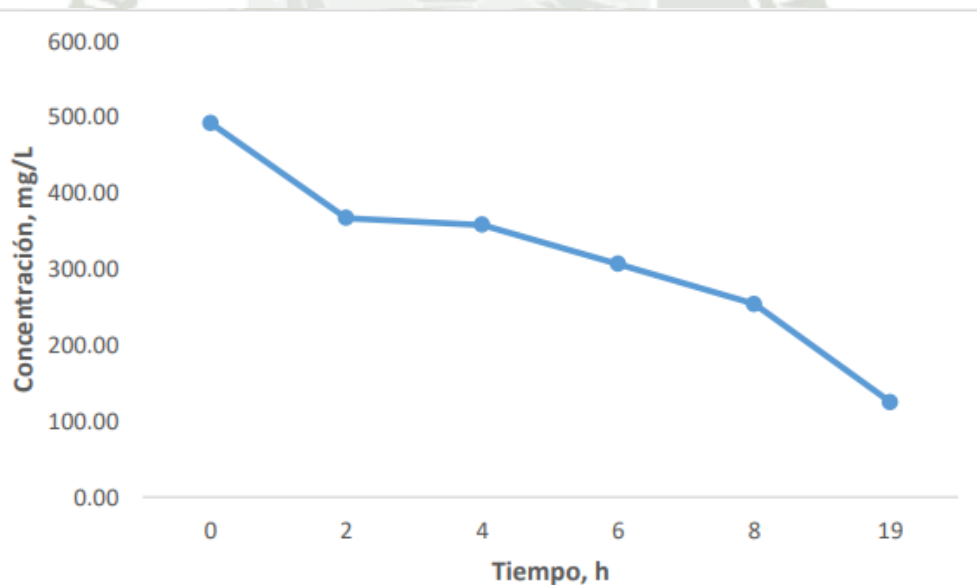
#### **l) Degradación de Cr en agua contaminada empleando consorcio bacteriano**

Luego de un periodo de 10 días de exposición de Cr VI a las cepas se da una degradación de: *Klebsiella oxycata* degradado 92%, *Bacillus subtilis* 74%, *Escherichia coli* 63%, *Enterobacter cloacae* 37% y *Pseudomona aeruginosa* 22% (48).



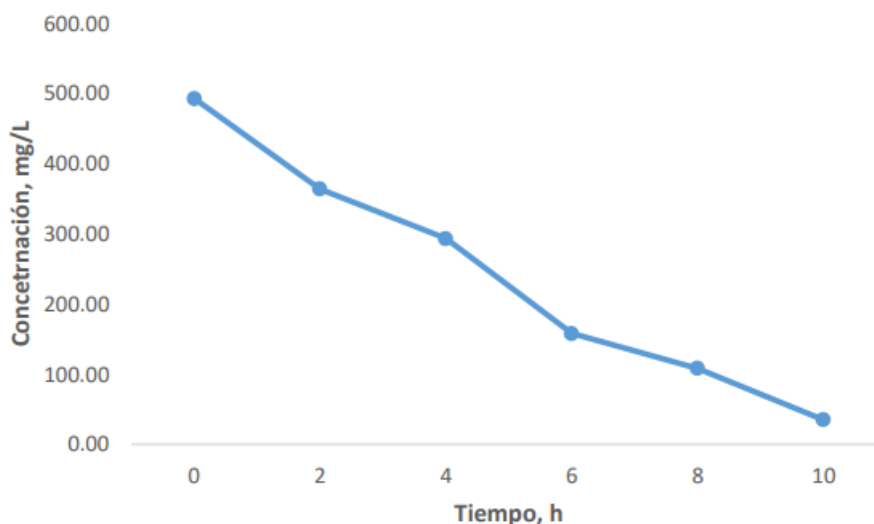
**Fig 48.** Comparación de la degradación de Cr (VI) entre las 5 cepas (48).

Fuente: \* Córdova Pantigoso, Arely Mayoly, y Medina Delgado, Miguel Octavio. 2019. Biorremoción con semilla de papaya arequipeña (*Vasconcellea pubescens*) para cromo total en efluentes de curtiembres, Arequipa (48).



**Fig 49.** Degradación de Cr (VI) por *Bacillus subtilis* (48).

Fuente: \* Córdova Pantigoso, Arely Mayoly, y Medina Delgado, Miguel Octavio. 2019. Biorremoción con semilla de papaya arequipeña (*Vasconcellea pubescens*) para cromo total en efluentes de curtiembres, Arequipa (48).



**Fig 50.** Degradación de Cr (VI) por *Klebsiella oxycata* (48).

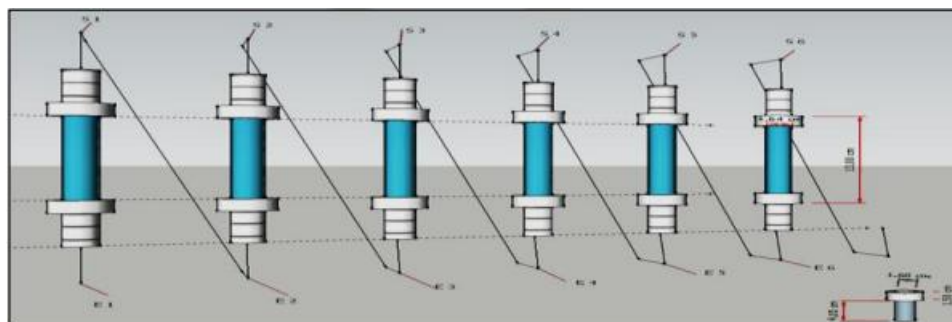
Fuente: \* Córdova Pantigoso, Arely Mayoly, y Medina Delgado, Miguel Octavio. 2019. Biorremoción con semilla de papaya arequipeña (*Vasconcellea pubescens*) para cromo total en efluentes de curtiembres, Arequipa (48).

Usando 100 mL de medio LB (Lisogenia) con inóculo de cada cepa y con 500mg/L de  $K_2Cr_2O_7$ , a las 24 horas se coloca 1 mL de cada cepa en un medio con Cr y agua, en incubación por 10 días a temperatura ambiente (48).

#### m) Biorremoción de Cr en agua contaminada con semilla de papaya arequipeña

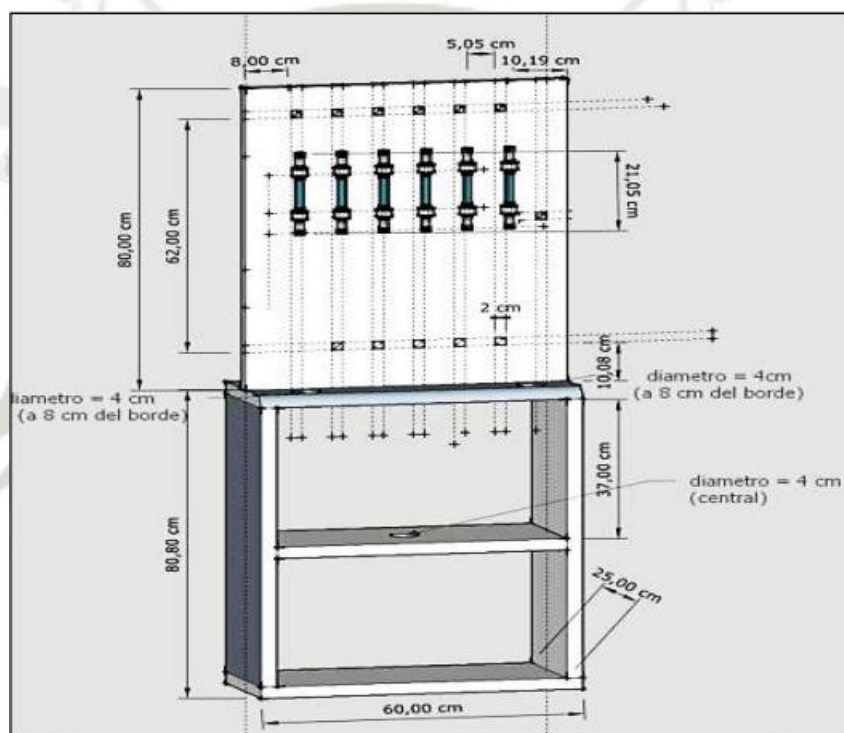
Se observa que la Biorremoción de Cr III es del 77.88% en agua contaminada con 312.94 ppm, en caso del Cr VI es del 80.46% en agua contaminada con 473.228 ppm, en sistema batch y finalmente en remoción de cromo total por sistema continuo es del 72.60% en agua contaminada con 3608 ppm, siendo un pH de 3 el óptimo para remover Cr III y pH 2 para Cr VI (49).

Se realiza una extracción total de los lípidos que componen la biomasa de las semillas de papaya arequipeña, se lavaron con agua destilada, secado con papel Kraft en bandeja a temperatura ambiente, es molida en procesador de alimentos por 15 segundos en lotes de 300g para mantener uniformidad y tamizadas a N° 20, pasar por agitación con éter de petróleo, se filtra con papel Whatman grado 6, secado en estufa a 40 °C por 2 horas, obteniendo un rendimiento del 65.17% del biosorbente. Empleándose 0.02 g/mL a pH 2 obtenido con la adición de ácido nítrico al 0.01 M, bajo agitación por 120 minutos a 674 rpm y 25 °C en Cr VI, variando a pH 3 en Cr III (49).



**Fig 51.** Configuración del sistema de biosorción continua (49).

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (Solanum Tuberosum) (49).



**Fig 52.** Modulo para sistema de biosorción continua (49).

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (Solanum Tuberosum) (49).



**Fig 53.** Semilla de papaya arequipeña (49).

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación

de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum Tuberosum*) (49).

**Tabla 28.** Rendimiento en % de aceite y torta de semilla de papaya Arequipa con éter de petróleo (49).

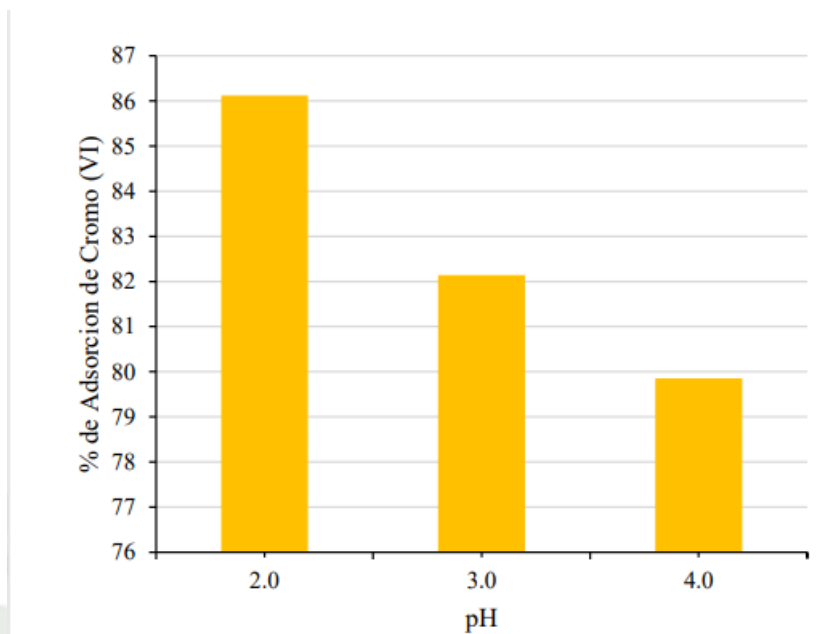
Ext.	Peso inicial de semilla (g)	Peso final aceite (g)	Torta, SDP (g)	Rendimiento en torta, SDP (%)	Rendimiento en aceite (%)
1	62,60	20,56	38,72	61,85	32,84
2	37,53	11,18	25,38	67,63	29,79
3	50,09	14,20	34,11	68,10	28,35
4	62,51	20,20	40,21	64,33	32,31
5	40,72	12,45	26,41	64,86	30,57
6	62,58	19,11	41,77	66,75	30,54
7	68,02	21,96	45,00	66,16	32,28
<b>Promedio ± D.E.</b>				<b>65,17 ± 2,17</b>	<b>30,96 ± 1,62</b>

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum Tuberosum*) (49).

**Tabla 29.** Remoción de Cr en función a la dosis de semilla de papaya arequipeña (49).

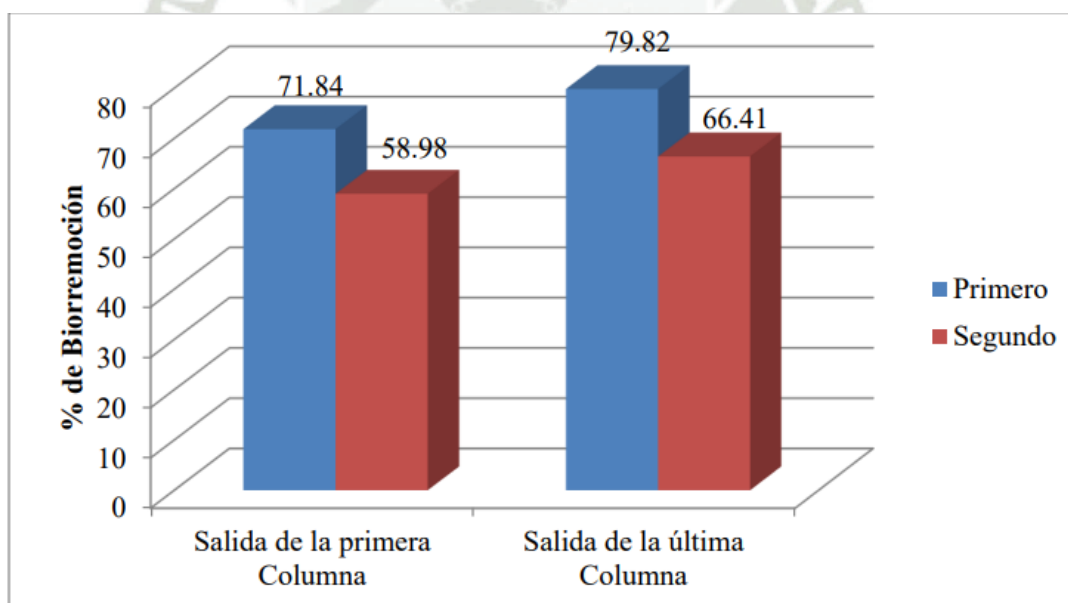
Dosis de SDP (g)	Dosis de SDP (g/mL)	Absorbancia promedio	Concentración final (mg/L)	% Adsorción
0	0	1,081	249,765	Control
0,1	0,002	0,271	61,778	75,27
0,5	0,01	0,128	28,590	88,55
1	0,02	0,104	23,020	90,78
1,5	0,03	0,055	11,648	95,34
2	0,04	0,047	9,791	96,08
3	0,06	0,016	2,597	98,96

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum Tuberosum*) (49).



**Fig 54.** Remoción de Cr (VI) en % de acuerdo con el pH (49).

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum Tuberosum*) (49).



**Fig 55.** Adsorción de Cr total de ARC en sistema continuo (49).

Fuente: \* Herrera Guillén, Alvaro Favio, y Sosa Pulcha, Stephanie Elena. 2018. Evaluación y Comparación de la Biosorción De CR (Vi) Usando Cáscaras de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum Tuberosum*) (49).

El sistema continuo de 6 columnas de un diámetro de 1.6 cm y una longitud de 13 cm, hechos de boro silicato Pirex, unidas en serie con manguera de grado alimentario de ½ pulgada de diámetro junto con adaptadores de conexión de poliamida en cada extremo de cada columna y filtros de esponja de 0.5 cm de grosor, empaquetando las columnas con biosorbente y

material de soporte de pumita o piedra pómez en proporción 2:27, primero 50% solamente con piedra pómez, luego 50% del restante es homogeneizado con los 2g del biosorbente, montado en una base de melamina. Usando una bomba presurizadora automática para mantener la circulación, a pH 3, 25 °C (49).

**n) Biosorción de Cr empleando cascara de papa única**

Evidenciando la absorción máxima luego de 30 minutos de contacto, en pH 2, usando 2 g de la biomasa (papa única) para remoción trabajando a 30 °C, con 97.63% de remoción, siendo que se muestra una capacidad de biosorción de 97.62mg/g (50).



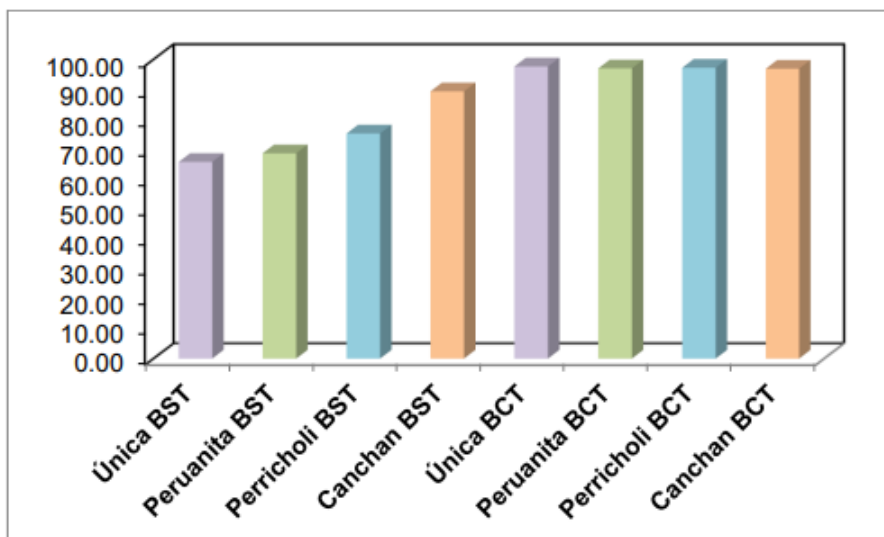
**Fig 56.** Tratamiento de biomasa (50).

Fuente: \* Ramírez Valverde, Angel Giuliana. 2018. Evaluación del Proceso de Biosorción de la Inflorescencia del Chenopodium Quinoa (Quinoa) para la Remoción de Cromo (VI) (50).

**Tabla 30.** Capacidad de remoción de Cr (VI) (50).

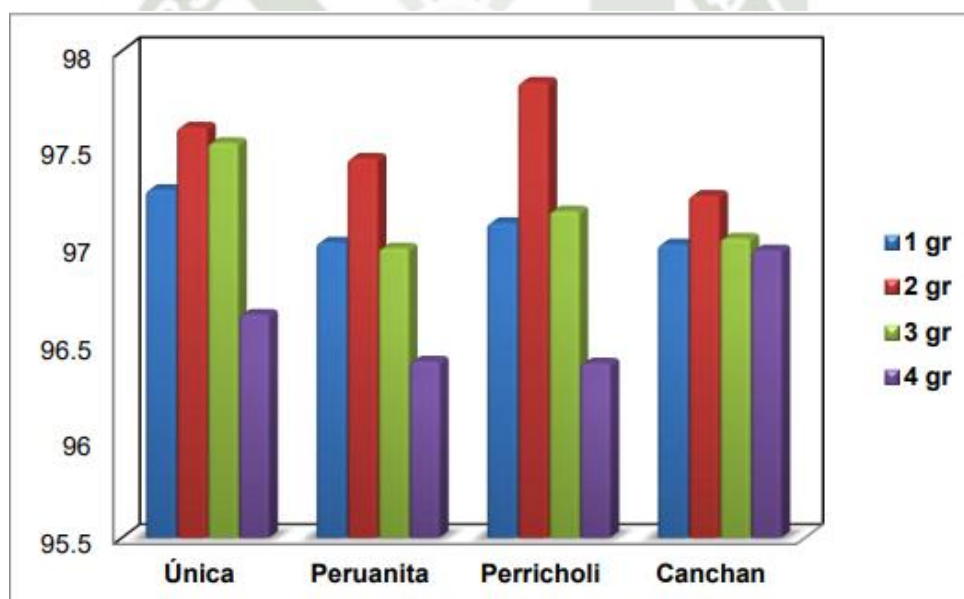
Tipo de papa	Concentración inicial de Cr(VI) (ppm)	Absorbancia	Concentración final de Cr(VI) (ppm)	Porcentaje de remoción	Capacidad de biosorción (mg/g)
<b>B Única</b>	3,1244	0,0499	0,0740	97,63	101,68
<b>C Peruanita</b>	3,0051	0,0600	0,0900	97,01	97,17
<b>T Perricholi</b>	2,9813	0,0833	0,0833	97,21	96,60
<b>Canchan</b>	2,8639	0,0892	0,0892	96,89	92,49

Fuente: \* Ramírez Valverde, Angel Giuliana. 2018. Evaluación del Proceso de Biosorción de la Inflorescencia del Chenopodium Quinoa (Quinoa) para la Remoción de Cromo (VI) (50).



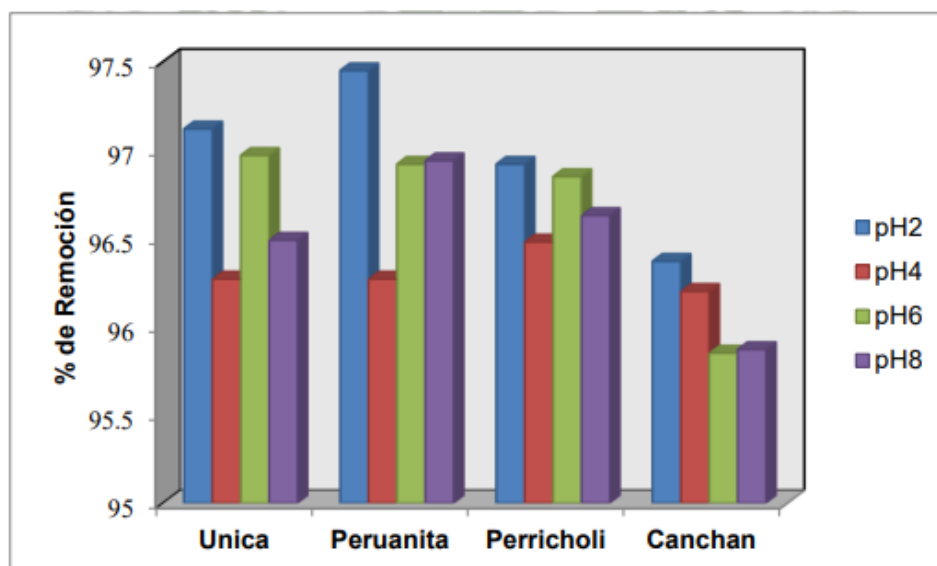
**Fig 57.** Porcentaje de remoción de diferentes cepas de papa (50).

Fuente: \* Ramírez Valverde, Angel Giuliana. 2018. Evaluación del Proceso de Biosorción de la Inflorescencia del *Chenopodium Quinoa* (Quinoa) para la Remoción de Cromo (VI) (50).



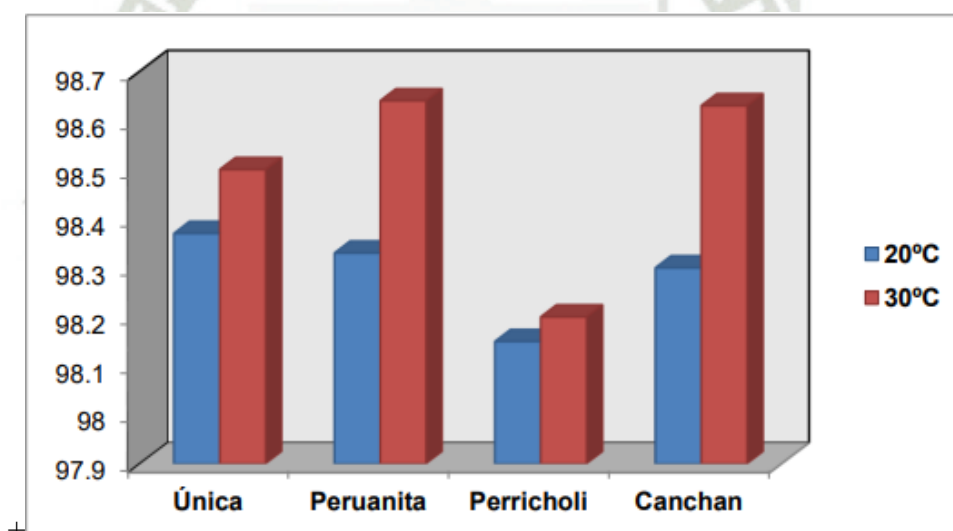
**Fig 58.** Remoción de acuerdo con la cantidad de biosorbente (50).

Fuente: \* Ramírez Valverde, Angel Giuliana. 2018. Evaluación del Proceso de Biosorción de la Inflorescencia del *Chenopodium Quinoa* (Quinoa) para la Remoción de Cromo (VI) (50).



**Fig 59.** Remoción de acuerdo con el pH del medio (50).

Fuente: \* Ramírez Valverde, Angel Giuliana. 2018. Evaluación del Proceso de Biosorción de la Inflorescencia del *Chenopodium Quinoa* (Quinoa) para la Remoción de Cromo (VI) (50).



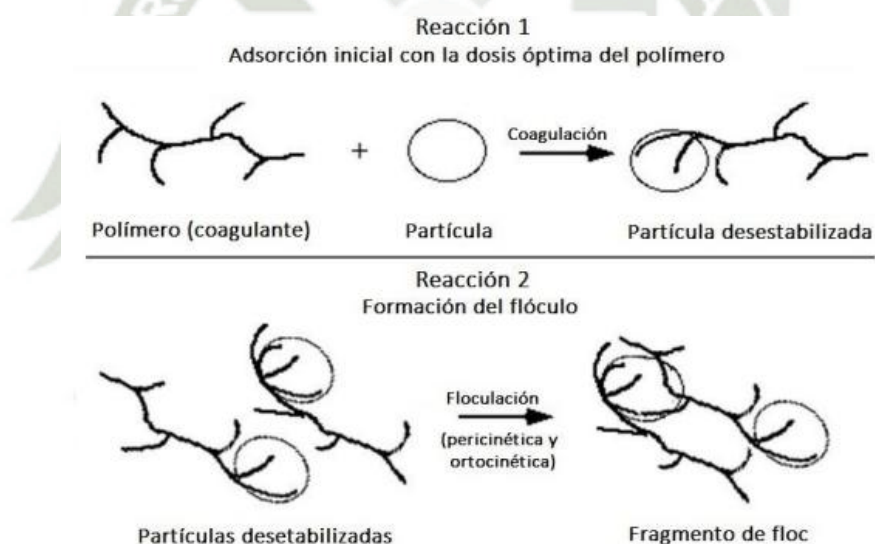
**Fig 60.** Remoción de acuerdo con la temperatura del proceso (50).

Fuente: \* Ramírez Valverde, Angel Giuliana. 2018. Evaluación del Proceso de Biosorción de la Inflorescencia del *Chenopodium Quinoa* (Quinoa) para la Remoción de Cromo (VI) (50).

Se recolecto cascara de papa, se lava 3 veces con agua destilada, se escurre y seca por 24 horas en estufa a 90°C, se tritura con molienda de cuchillas, tamizado (N° 20), se realiza tratamiento a 40 g de la biomasa usando 200 mL de ácido cítrico 0.6M, filtrado en vacío y se lava con agua destilada para pasar a secar a 75 °C por 24 horas en estufa, luego a moler nuevamente y tamizar (N° 20 y N° 100) obteniendo partículas entre 850-150µm. Usando 2 g de biomasa con 100 mL de solución a tratar con 3 ppm de concentración de Cr VI en un sistema de jarras a 30°C y pH 2 (50).

**o) Biosorción de Cr de agua contaminada con Quitosano de camarón**

Alcanza una remoción de Cr VI en 46% y en Cr III en 52%. La preparación de quitosano se realiza empleando 4.432 kg de residuos de camarón (colas), se lavan con agua para eliminar carne residual, secado en estufa a 40°C por 7 horas, obteniendo peso seco de 0.925 kg. Molienda y tamizado, obteniendo 540 g de partículas entre 100-400  $\mu\text{m}$ . Se desmineralizo con 30 mL de HCl 1.5 N por cada 3 g de molido, en agitación por 60 minutos a temperatura ambiente, pasa por filtración en ausencia de presión y lavados con agua destilada con el propósito de alcanzar un pH neutro, eliminando sobrenadante. La desproteínización es con NaOH al 5% en relación 1:10 (sólido: líquido), a 100 °C por 1 hora bajo agitación constante, filtrado y lavado con agua hasta pH neutro, desecho sobrenadante. Finalmente se realiza la desacetilación con NaOH 50% p/v en relación 1:10 a 110 °C por 2 horas, bajo agitación continua, llevando a pH neutro con filtración y lavados con agua destilada, secado en estufa por 12 horas a 37 °C (rendimiento de 28.1%) (51).



**Fig 61.** Coagulación – Floculación (51).

Fuente: \* Dávila Carazas, Celsa Derenisse. 2017. Remoción de Cromo (VI) en Medio Acuoso Utilizando el Endocarpio del Fruto de la Olea Europaea (Olivo), Aplicando un Análisis Factorial 24 (51).



**Fig 62.** Lacado – secado – molienda de caparazón de camarón (51).

Fuente: \* Dávila Carazas, Celsa Derenisse. 2017. Remoción de Cromo (VI) en Medio Acuoso Utilizando el Endocarpio del Fruto de la Olea Europaea (Olivo), Aplicando un Análisis Factorial 24 (51).



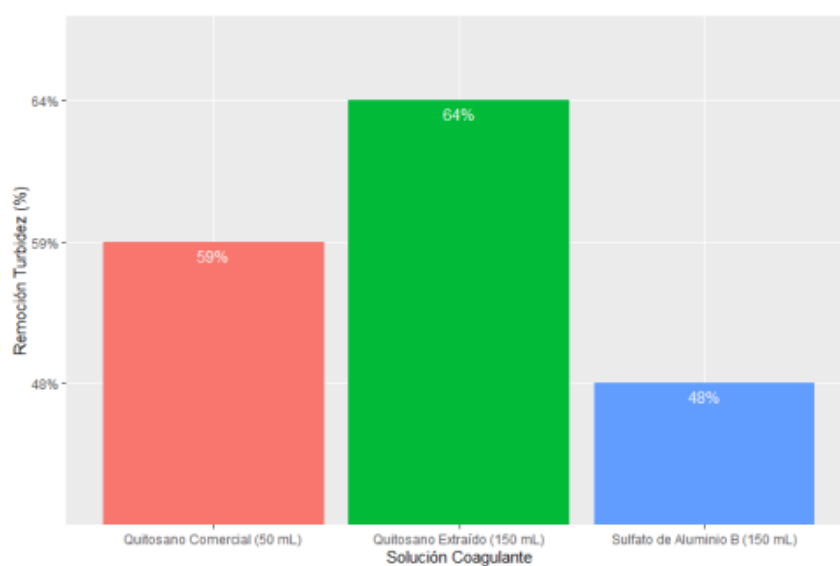
**Fig 63.** Quitosano de camarón (51).

Fuente: \* Dávila Carazas, Celsa Derenisse. 2017. Remoción de Cromo (VI) en Medio Acuoso Utilizando el Endocarpio del Fruto de la Olea Europaea (Olivo), Aplicando un Análisis Factorial 24 (51).



**Fig 64.** Método de jarras y dosis de sol. coagulante (51).

Fuente: \* Dávila Carazas, Celsa Derenisse. 2017. Remoción de Cromo (VI) en Medio Acuoso Utilizando el Endocarpio del Fruto de la Olea Europea (Olivo), Aplicando un Análisis Factorial 24 (51).



**Fig 65.** Remoción de turbidez de acuerdo con soluciones coagulantes (51).

Fuente: \* Dávila Carazas, Celsa Derenisse. 2017. Remoción de Cromo (VI) en Medio Acuoso Utilizando el

Endocarpio del Fruto de la Olea Europaea (Olivo), Aplicando un Análisis Factorial 24 (51).

**Tabla 31.** Remoción de Cr total por quitosano coagulado (51).

Beaker	Dosis de la solución Coagulante (mL)	Cromo Total (mg/L)		
		Quitosano Comercial	Quitosano Extraído	Sulfato de Aluminio B
1	25	632.60	622.23	695.24
2	50	608.23	584.97	687.46
3	100	621.41	574.20	662.74
4	150	626.58	537.03	636.62
5	200	628.08	560.00	647.66
Control	-		1102.16	

Fuente: \* Dávila Carazas, Celsa Derenisse. 2017. Remoción de Cromo (VI) en Medio Acuoso Utilizando el Endocarpio del Fruto de la Olea Europaea (Olivo), Aplicando un Análisis Factorial 24 (51).

Se procesa una solución coagulante de quitosano al 0.1%, pesando 1 g de biomasa suelta en 100 mL de HCl 0.1 M con agitación por 24 horas, diluido en agua destilada hasta 1 L. La remoción es realizada en un sistema que emplea jarras de 6 posiciones para tratar 750 mL de agua contaminada, agitación a 100 rpm por 1 minuto, baja a 25 rpm por 20 minutos, se detiene y sedimenta por 30 minutos bajo temperatura ambiente durante todo el proceso (51).

#### p) Biosorción de Cr en agua contaminada con inflorescencia de Quinua

Material biosorbente es más eficiente al tener un tratamiento previo con ácido, por 120 minutos con 0.5 g de biosorbente, obteniendo una remoción del 55.42% de Cr VI, 150 mg/L con partículas de 425-250  $\mu\text{m}$  a 20 °C, con una gran capacidad como adsorbente de 201 mg/g (52).



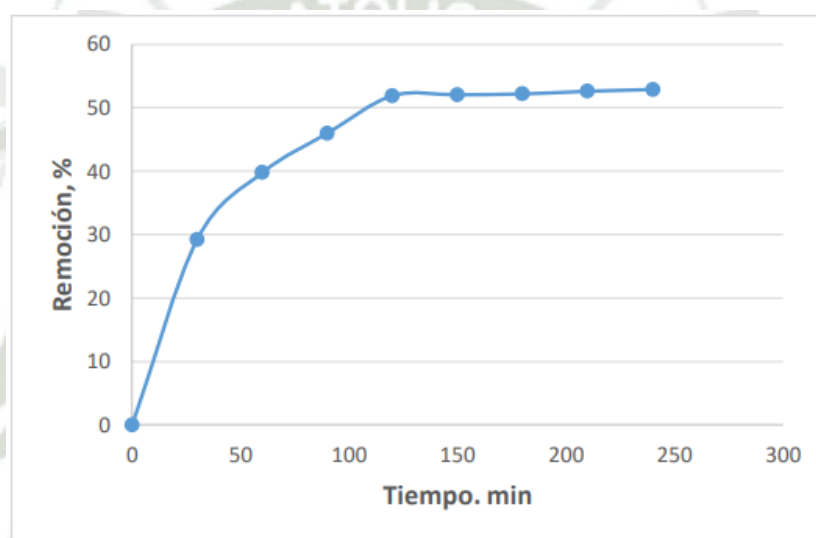
**Fig 66.** Biosorbente procesado (52).

Fuente: \* Valdivia Tejada, Francine. 2017. Bioprecipitación de metales pesados utilizando Bacterias reductoras de Sulfato (BRS) para su aplicación en un Biorreactor Sulfidogénico (52).



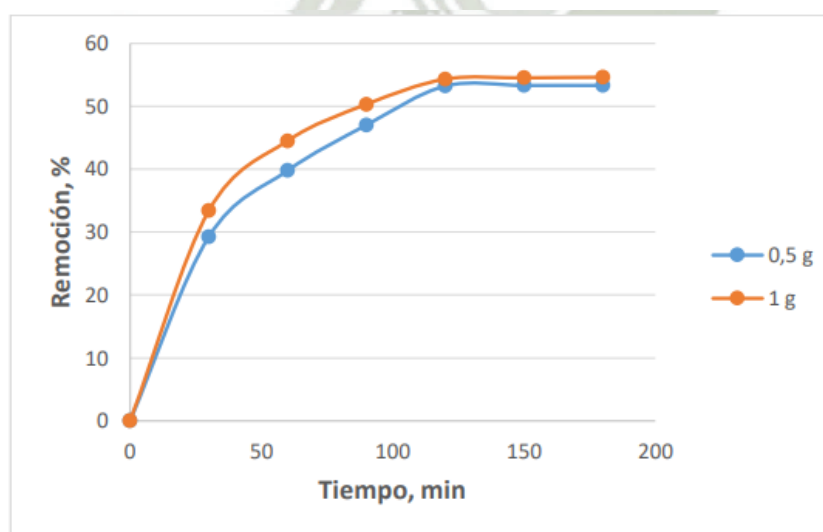
**Fig 67.** Tratamiento ácido de biosorbente (52).

Fuente: \* Valdivia Tejada, Francine. 2017. Bioprecipitación de metales pesados utilizando Bacterias reductoras de Sulfato (BRS) para su aplicación en un Biorreactor Sulfidogénico (52).



**Fig 68.** Remoción con respecto al tiempo de contacto (52).

Fuente: \* Valdivia Tejada, Francine. 2017. Bioprecipitación de metales pesados utilizando Bacterias reductoras de Sulfato (BRS) para su aplicación en un Biorreactor Sulfidogénico (52).



**Fig 69.** Remoción con respecto a la dosis del biosorbente (52).

Fuente: \* Valdivia Tejada, Francine. 2017. Bioprecipitación de metales pesados utilizando Bacterias reductoras de Sulfato (BRS) para su aplicación en un Biorreactor Sulfidogénico (52).

Colectando inflorescencia de quinua de los residuos agrícolas, 20 g lavado por triplicado empleando agua destilada, secado usando una estufa a 60 °C por 4 horas, triturado en mortero. El pretratamiento usa 100 mL de ácido HCl 0.1 N por cada g de biosorbente, a temperatura ambiente por 24 horas, filtrado en ausencia de presión y realizando un lavado con agua destilada hasta obtener un pH neutro, luego de un secado en estufa a 60 °C por 4 horas (52).

Bajo sistema de jarras se usa 50 mL de Cr VI en un solución cuya concentración es de 100 mg/L, se lleva hasta un pH 2 con HCl 1 M, junto a 0.5 g de biosorbente, bajo agitación de 180 rpm por 120 minutos a 20 °C (52).

#### q) Remoción de Cr en medio acuoso con endocarpio de olivo

La remoción muestra una eficiencia superior al 90% a pH 2, frente a 10 ppm de Cr VI con 3g de biosorbente a 250  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula (53).

Recolectando endocarpio del fruto del olivo, retirando la pepa, lavando con agua destilada, realizando el secado al sol durante 24 horas, se trituro con martillo y luego con mortero, se tamizo N° 60 obteniendo partículas de 250  $\mu\text{m}$ , secado en estufa a 60 °C por 24 horas, lavado por triplicado con agua hervida y secado a temperatura ambiente (53).

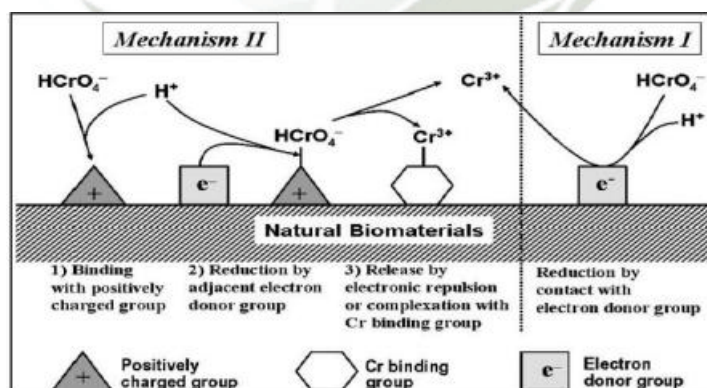


Fig 70. Mecanismo de adsorción de Cr (VI) (53).

Fuente: \* Torsvik, V., Goksøyr, J., and Daae, F.L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria (52).



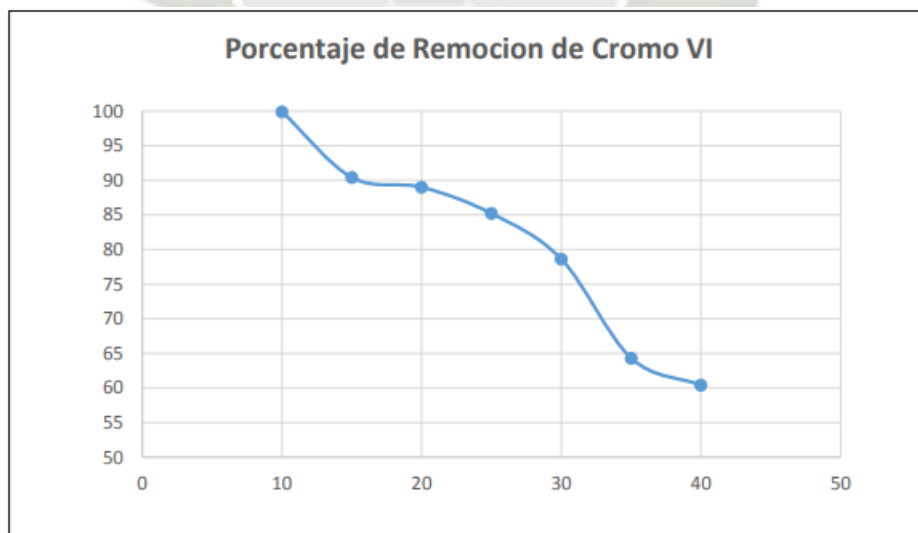
**Fig 71.** Test en Jarras (53).

Fuente: \* Torsvik, V., Goksøyr, J., and Daae, F.L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria (52).

**Tabla 32.** Parámetros para Adsorción (53).

Parámetros	Unidad
Concentración Cr (VI)	10 ppm
pH	2
Cantidad del adsorbente	1 g/L
Tamaño de partícula	250 $\mu\text{m}$
Volumen (V)	0.1 L

Fuente: \* Torsvik, V., Goksøyr, J., and Daae, F.L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria (52).



**Fig 72.** Remoción en % de Cr (VI) en ppm con endocarpio de olivo (53).

Fuente: \* Torsvik, V., Goksøyr, J., and Daae, F.L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria (52).

Añadiendo 50 mL de buffer Britton Robinson hasta pH 2 y 50 mL de agua destilada con 10 ppm de Cr VI, usando 3 g de endocarpio a un tamaño de 250  $\mu\text{m}$  de partícula, en un sistema

de jarras, de paletas bajo agitación a 150 rpm a 18 °C por 240 minutos (53).

**r) Bioprecipitación de Cu, Pb, Cd y Cr en agua contaminada con bacterias reductoras de sulfato en biorreactor Sulfidogénico**

Empleando cepas del género *Desulfovibrio* (2M y 806), con crecimiento a 30 °C en pH 7 a 7.5. La cepa 2M permite una mayor eficiencia con una precipitación por biorremediación de 94% para el Cu, 83% para el Cd, 65% de Pb y 44% del Cr (54).

**Tabla 33.** Composición de medio Postgate G modificado (70).

Sustancia	Cantidad (por litro)
NaCl	1,2 g
KCl	0,3 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,31 g
NH <sub>4</sub> Cl	0,3 g
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,2 g
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,15 g
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,4 g
Lactato de Ringer	79,75 ml
Solución de anaerobiosis A, B	5 ml
Solución de vitaminas A, B	1 ml
pH	7,0 - 7,5

Fuente: \* Postgate J.R. (1984). The sulphate-reducing bacteria (70).

**Tabla 34.** Comparación de cepa 804 con otras secuencias (54).

Descripción	Max score	Total score	Query cover	E value	% de Identidad
Uncultured <i>Desulfovibrio</i> sp. gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence, clone: sus-5	1537	1537	77%	0.0	96%
<i>Desulfovibrio</i> sp. S14 PV-2008 partial 16S rRNA gene, strain S14	1528	1528	77%	0.0	96%
<i>Desulfovibrio</i> sp. enrichment culture clone 06-1235251-126 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1522	1522	77%	0.0	96%

**Tabla 34 (Cont).** Comparación de cepa 804 con otras secuencias (54).

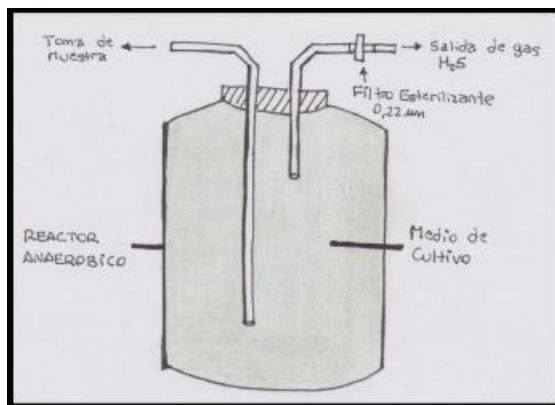
<i>Desulfovibrio</i> sp. b16 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1522	1522	77%	0.0	96%
<i>Desulfovibrio</i> sp. 6-71 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	1520	1520	77%	0.0	96%
<i>Desulfovibrio</i> sp. zt10e 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1517	1517	77%	0.0	96%

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).

**Tabla 35.** Comparación de cepa 2M con otras secuencias (54).

Descripción	Max score	Total score	Query cover	E value	% de Identidad
<i>Desulfovibrio</i> sp. enrichment culture clone 06-1235251-87 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1613	1613	77%	0.0	98%
<i>Desulfovibrio aerotolerans</i> strain DvO5 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1600	1600	77%	0.0	98%
<i>Desulfovibrio magneticus</i> strain RS-1 16S ribosomal RNA gene, complete sequence	1594	1594	77%	0.0	98%
<i>Desulfovibrio carbinolicus</i> strain DSM 3852 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1594	1594	77%	0.0	98%
<i>Desulfovibrio marrakechensis</i> strain EMSSDQ4 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	1585	1585	77%	0.0	98%
<i>Desulfovibrio</i> sp. G2 gene for 16S rRNA, partial sequence	1580	1580	77%	0.0	97%
<i>Desulfovibrio fructosovorans</i> partial 16S rRNA gene, type strain DSM 3604T	1574	1574	77%	0.0	97%

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).



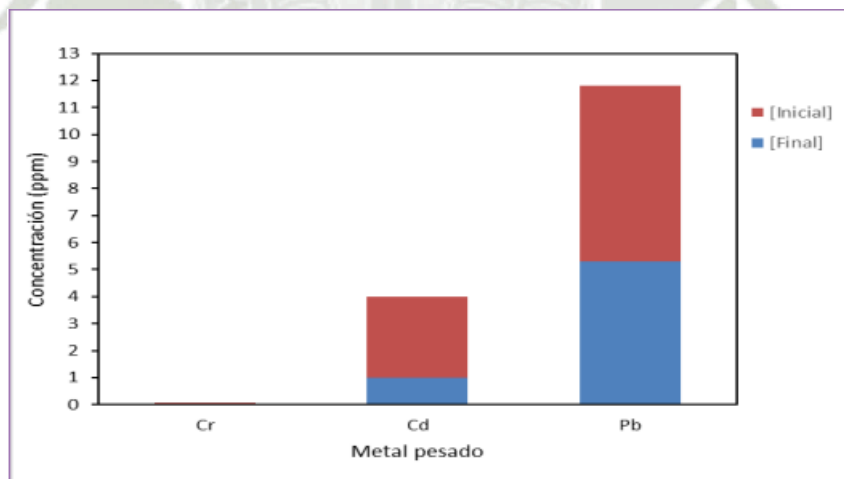
**Fig 73.** Esquema de dispositivo Batch (54).

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).



**Fig 74.** Bioprecipitación de Pb, Cr, y Cd; inicio (A) y final (B) (54).

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).



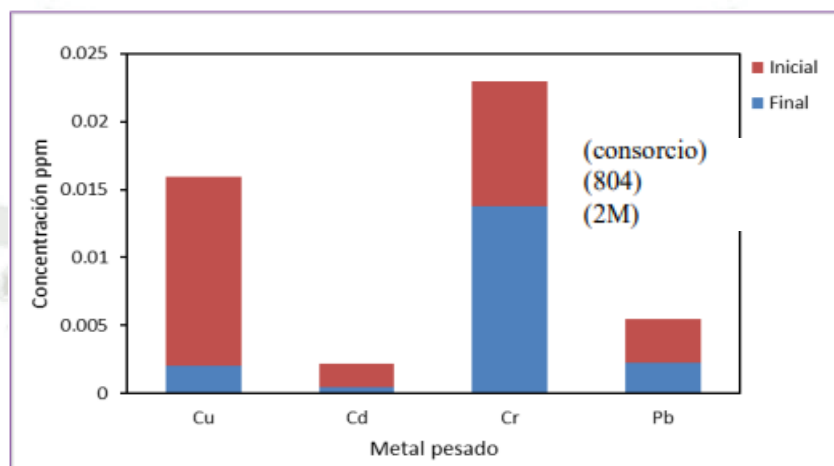
**Fig 75.** Concentración de metales pesados frente al consorcio bacteriano, inicio (rojo), final (azul) (54).

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).

**Tabla 36.** Precipitación de los M.P indicados (54).

Cr(III)		Cd(II)		Pb(II)		Cultivo celular
Inicial (ppm)	% remoción	Inicial (ppm)	% remoción	Inicial (ppm)	% remoción	L
0.08	37	3.99	75	11.80	55	L
0.08	30	3.97	68	11.61	45	L
0.08	45	3.96	83	11.59	58	L

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).



**Fig 76.** Concentración de M.P. en biorreactor, inicio (rojo) y final (azul) (54).

Fuente: \* Alexander, M. (1999). Biodegradation and Bioremediation (54).

El crecimiento bacteriano se realizó en medio Postgate G con 1 mL de inoculo a pH 7 y a 30 °C. Se empleo un biorreactor tipo tanque con medio Postgate G sin FeSO<sub>4</sub>, en adición a la cepa 2M, colocando en el biorreactor piedra pómez como soporte bacteriano, cerrado hermético, antes de agregar inoculo se añade solución de anaerobiosis, para luego agregar 130 mL de relave esterilizado, el proceso se da bajo agitación periódica, a 30 °C a pH 7-7.5 por 10 días (54).

## 6. DISCUSIONES

Al realizar el análisis de la información compilada, tomando en consideración los parámetros más importantes como la metodología desarrollada para el tratamiento por medio de biorremediación, así como los resultados que obtuvieron los diversos trabajos de tesis y las conclusiones reportadas de igual manera la revisión realizada al observar diferentes métodos empleados para los mismos metales pesados, verificando la eficacia por parte de los diferentes técnicas y del biosorbente empleado, ya sean microorganismos o plantas.

### 6.1 Análisis de metodología:

Realizando un análisis de la metodología desarrollada en cada trabajo de tesis, verificando los sistemas más empleados para la biorremediación de metales pesados.

**Tabla 5:** Cantidad de tesis por metodología

<b>Metodología (Técnica de análisis)</b>	<b>Cantidad de tesis</b>	<b>Porcentaje</b>
Biorreactor	1	5.26%
Sistema de jarras	11	57.89%
Sistema biorreactor RAEFA-EZ	1	5.26%
Aeroponía	1	5.26%
Biorreactor MBBR	1	5.26%
Sembrado en campo contaminado	1	5.26%
Filtrado en columna	1	5.26%
Sistema continuo de columnas	1	5.26%
Biorreactor de flujo pistón	1	5.26%
Total	19	100%

## 6.2 Análisis del uso de agentes por su naturaleza:

Considerando la variedad de agentes de acuerdo con la naturaleza de estos, se analiza que clase de agente posee una mayor atención en cuanto a su utilidad en la biorremediación.

**Tabla 6:** Cantidad de tesis por agente biorremediador

Naturaleza del agente biorremediador	Por tesis	Porcentaje
Plántulas	2	10.53%
Bacterias	6	31.58%
levadura	1	5.26%
Residuo agrícola	5	26.32%
Biopolímero	2	10.53%
Parte de fruto	3	15.79%
Total	19	100%

## 6.3 Análisis de eficacia del método:

Los datos observables en cada trabajo de tesis revelaron conclusiones en base a un porcentaje de remoción de cada metal pesado que paso por el proceso de Biorremoción, en búsqueda de posicionarse por debajo de los LMP y estándares medio ambientales, haciendo referencia en cuanto a la información visualizada en la tabla N° 6, en donde hallamos la cantidad de trabajos de tesis que muestran el mayor porcentaje de eficacia, aquellos que permanecen en un margen intermedio, y finalmente aquellos que no muestran una relevancia de acuerdo a su ínfimo porcentaje de remoción.

**Porcentaje de remoción superior al 80%:** Todos los resultados que presentaron una eficiencia de remoción superior al 80% independientemente del metal pesado, los cuales demuestran un gran potencial para ser escalados y empleados en comunidades.

**Porcentaje de remoción entre el 45 al 80%:** Resultados que demuestran el potencial suficiente para optar por tratamientos u opciones de optimización.

**Porcentaje de remoción inferior al 45%:** Resultados que indican posibilidad de realizar investigación con otros metales pesados u emplear el mismo agente bajo otra metodología.

**Tabla 7:** Cantidad de tesis de acuerdo con el porcentaje de remoción

Porcentaje de remoción	Cantidad de tesis	Porcentaje
↑ 80%	12	63.16%
45 – 80%	4	21.05%
↓ 45%	3	15.79%
Total	19	100%

Posterior a la revisión de las tesis publicadas por la UCSM en el periodo 2013-2023, las cuales están disponibles en el repositorio de tesis virtual, se halló información concerniente a resultados y conclusiones, las cuales han demostrado el valor de los métodos ideados por licenciados formados en la Universidad Católica, así como la importancia de la problemática referente a la contaminación desencadenada por el progreso industrial y la explotación desmedida de los recursos del planeta.

La información referida en la primera tabla nos demuestra que la escuela de Farmacia y Bioquímica a pesar de contar con formación en la cual se estimula los proyectos de biorremediación, el desarrollo de algún estudio con grado de tesis no ha sido desarrollado en los últimos 10 años, mostrando mayor orientación a dicha problemática por parte de la escuela de Ingeniería Biotecnológica.

En la tabla 2, es observable que en el periodo 2013 – 2023 se evidencio un mayor número de tesis orientadas a la biorremediación en el año 2019, siendo estas un total de 4 tesis, uno de los factores para la mencionada alza pudo ser el incremento en la inversión minera del 2019, así como la estimulación industrial y falta de control por la imposición de la pandemia. Esto estímulo a los bachilleres de la UCSM, a estudiar métodos para resolver los daños medioambientales que derivan de estos factores mencionados, minimizando el impacto a largo plazo.

Mientras tanto en la tabla 3 de la gran cantidad de metales pesados existentes, así como los que poseen gran nivel de toxicidad en el ser humano y capacidad de daño medio ambiental, de hallaron que los metales estudiados en este periodo 2013 -2023 fueron, Pb, Fe, Cr, Cd, Cu y As. Siendo el más estudiado el Cr, esto es posiblemente gracias a la gran presencia que tiene tanto en industria minera (relave minero), así como en industrias textiles (efluentes

textiles), demostrando el mayor grado de preocupación por la problemática resultando de su presencia acumulativa. Un total de 10 trabajos de tesis se orientaron, en parte o exclusivamente a la Biorremoción de Cr, tanto Cr total, así como en sus estados más tóxicos, Cr III y Cr VI.

La tabla 4 refleja la determinación para crear un método innovador empleando lo que comúnmente se considera como desperdicio en agricultura, especies bacterianas, entre otros. U optar por la optimización de algún método ya existente, realizando una variación en los parámetros como pH, temperatura, cantidades, adicionando agentes de biorremediación o aplicando tratamientos adicionales al agente usado en dicho método, modificando sus características físicas, obteniendo un mayor porcentaje de remoción, así como una eficiencia superior. Observando que el orientarse por el diseño y estandarización de métodos innovadores es lo que posee mayor prevalencia gracias a la estimulación tanto de la imaginación científica, en adición de la generación de información original.

De los métodos con mayor grado de empleabilidad, bajo el propósito de biorremediación está el sistema de jarras, el cual evidencia que ha sido usado en 10 de las 19 tesis analizadas, información referida en la tabla 5, esto es posible gracias al bajo grado de complejidad en su manipulación y programación, útil empleando distintos agentes con capacidad de remoción de metales pesados, pero no es el único método.

Por otro lado, en la tabla 6 observamos los diferentes agentes con capacidad de biorremediación, siendo desde bacterias, plantas, residuos agrícolas, levaduras, entre otros. Pero el agente con mayor índice de uso en las tesis analizadas, son los agentes bacterianos y los residuos agrícolas, el optar por estas opciones va desde objetivos económicos, al minimizar el gasto, convirtiendo el método en algo de fácil reproducibilidad, así como el uso total de lo que se considera residuo, evitando el desperdicio y aprovechando el uso de todos los componentes de una especie botánica y fauna en su totalidad, con alto grado de eficiencia.

Finalmente, la tabla 7 muestra información referente al porcentaje de eficiencia por parte de los métodos estandarizados y optimizados en las diferentes tesis, teniendo en cuenta los metales pesado respectivos, se observa que el 63.13% de trabajos de tesis reportan una eficiencia superior al 80%, perteneciendo en su mayoría a remoción de Cr VI, así como As, Cu II, Cd y Fe total, mientras que un 21.05% demuestra eficiencia por encima del 45% pero por debajo del 90%, y finalmente el 10.54% demuestra una eficiencia menor al 45%.

En las tesis revisadas, se encuentra un dato con interés, siendo la capacidad de remoción del 97.63% de Cr, esto es resultado del uso de cascara de papa única con un pretratamiento (50), en comparación con estudios que emplean la biomasa desecada de *Kluyveromyces marxianus* en el cual se empleó el sistema de jarras como en la tesis mencionada, pero la obtención de biomasa seca es un proceso más laborioso, pero el resultado es ligeramente mayor, siendo de 99.4% (58).

De manera simultánea el uso de *Kluyveromyces marxianus* como biomasa seca, es empleada para la remoción de Pb, obteniendo una remoción del 94.9% (58) mientras que usando bacterias de la especie *Desulfovibrio* solo obtienen una remoción total del 65% (50), pero otro análisis a demostrado que el meollo del bagazo de la caña de azúcar, empleando el modo batch, dando como resultado una remoción del 93.5% de efectividad haciendo uso de un aditivo para la variación del pH, siendo este el HNO<sub>3</sub> con el propósito de reutilizar el meollo en numerosos ciclos de adsorción (59).

A pesar de solo encontrar 1 tesis que desarrolla la biorremediación de la contaminación por Fe, esta obtiene una remoción del 82% de Hierro total, lo cual demuestra ser un método de alto valor (27), mientras que, al usar el residuo agroindustrial del banano, específicamente del polvo producido con las hojas del banano, se obtiene una remoción del 75% de Fe III y 57.78% de Fe II, pero la segunda emplea ceniza de cascara de banano (60).

Para el caso de la remoción de As se halló una investigación que emplea el FeCl<sub>3</sub>, el cual actúa como agente coagulante, en un sistema de jarras, el cual logro obtener una remoción de 94% (61), mientras que los análisis demuestran que en las tesis el método con mayor eficiencia es el que obtuvo 80.42% de remoción usando el marlo de maíz, a pesar de tener un tratamiento previo no obtiene la misma eficiencia (39).

El uso del consorcio bacteriano de *Corynebacterium spp* y *Pseudomona aeruginosa* inmovilizado permite obtener una remoción del 99% de Cadmio y un gran resultado de la remoción del Cu siendo esta del 97.08%, demostrando el potencial de los consorcios bacterianos, así como el uso de inmovilización con alginato para los métodos de biorremediación (33), mientras que al usar carbón activado producido a base del epicarpio de naranja, la cual a pesar de poseer varios tratamientos para optimizar el proceso, solo se obtiene una remoción de 60% de Cd (62), mientras que en el caso de Cu el uso de cascara de nuez el cual tuvo una preparación relativamente poco compleja, demostró una remoción

del 87.8% que a pesar de no ser tan alto como el método que emplea un consorcio bacteriano sigue siendo una método de remoción a tomar en cuenta de acuerdo a las facilidades de la zona para obtener el agente con capacidad de biorremediación (63).



## 7. PERSPECTIVAS FUTURAS

Al evidenciar un bajo índice de trabajos de tesis orientadas a la biorremediación de metales pesados, a pesar de ser un problema de importancia latente con la falta de regulación de mineras informales, es necesario extender el periodo de revisión, ampliando el número de posibles trabajos de tesis que ingresen en este perfil.

Realizar una comparación de las tesis y sus resultados para con trabajos de tesis de una universidad estatal, con el propósito de comparar la complejidad y la eficiencia de los métodos desarrollados, así como los metales pesados con mayor preocupación de remoción, así como los medios contaminados a tratar con biorremediación.

Implementar consorcio de bacterias con diferentes grados de eficiencia al remover distintos metales pesados, bajo métodos de inmovilización, con el objetivo de la obtención de un consorcio bacteriano con capacidad de remoción de un amplio espectro de estos agentes tóxicos acumulativos.

## 8. CONCLUSIONES

**Primero**, los métodos de biorremediación emplean tanto el agente con la capacidad de Biorremoción, pero además emplea un sistema en donde se desarrolle dicho proceso, el cual permite mantener un control sobre los parámetros que permitan una optimización en los procesos, de igual manera dependiendo de la naturaleza de la muestra a tratar, siendo el agua contaminada o efluente o relave, los más versátiles al emplearse bajo diferentes sistemas, tales como el sistema de jarras, batch, columna, o biorreactores.

**Segundo**, el análisis a identificado que los métodos de biorremediación más eficientes desarrollados en la UCSM, en el periodo 2013-2023, son los que superan el 80% de remoción, como el Hierro total con 82% al realizarse la remoción con un biopolímero, el Cobre con una remoción del 97.08% usando el consorcio bacteriano de *Corynebacterium spp* y *Pseudomona aeruginosa* inmovilizado con alginato y a su vez el mismo logra demostrar una remoción del 99% de Cadmio, siendo que la mayoría de estas investigaciones se desarrollaron con una muestra problema líquida (relave, agua contaminada, efluente), pero uno que fue empleado para tratar un área de suelo contaminado es el de biorremediación de Arsénico usando *Chenopodium álbum* el cual obtiene una remoción de 1050.4mg del mencionado metal pesado por kg de suelo y en caso de agua contaminada usando residuo biomásicos de marlo de maíz, se obtiene remoción del 80.42%, y finalmente el método de remoción de Cr que emplea cascara de papa única es el que mejor resultado obtiene de los 10 trabajos de tesis que investigan variados métodos, el mencionado método obtiene una remoción del 97.63%.

**Tercero**, el método que emplea la remoción de Cr no solo es el más eficiente, además, emplea la cascara de un tubérculo de elevado consumo para frituras, tanto en hogares como a nivel industrial, obteniéndose de manera sostenible una fuente continua de este agente de Biorremoción, pero requiere un tratamiento previo a un pH 2, el cual solo profesionales pueden manejar adecuadamente por su peligrosidad, para luego de ser empleado se deseché bajo proceso de incineración y se las cenizas puedan ser trasladadas hacia un vertedero de seguridad.

**Cuarto**, se ha demostrado que la escuela de Farmacia y Bioquímica ha dejado de lado el tema de Biorremoción, siendo que no se ha evidenciado tesis alguna en el periodo de tiempo establecido para esta revisión.

**Quinto**, este conocimiento permite que se organice una empresa destinada al trabajo en

conjunto con industrias y mineras, para realizar un tratamiento adecuado en residuos acuíferos y suelos contaminados para minimizar el impacto en el ambiente y recuperar áreas explotadas por dichas entidades, con el propósito de repoblar dichas áreas o emplearlas en agricultura e incluso ganadería.



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Waisberg M, Joseph P, Hale B, Beyersmann D. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*. 2013;3(4):95–117.
2. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Inorganic Mercury*. IPCS Environment Health Criteria. Ginebra (Suiza): OMS; 1980. 92 p.
3. Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem Toxicol*. 2012;48(1):611–9.
4. Molina C, Ibañez C, Gibon FM. Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): posible riesgo en la salud de consumidores. *Ecología*. 2013;47(2):99–118.
5. Romero Ledezma KP. Contaminación por metales pesados. *Rev Cient Cienc Méd*. 2009;12(1):45–6. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1817-74332009000100013&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013&lng=es&tlng=es)
6. Ministerio de Energía y Minas. Informe técnico: Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Lima y Callao. Lima (Perú): Ministerio de Energía y Minas; 2019.
7. Bose SK, Chakraborty UC. Resolutions adopted at the general session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December 1956. *Indian J Pediatr*. 1957;24(1):14. doi:10.1007/BF02796157
8. Nieboer E, Richardson DHS. The replacement of the nondescript term heavy metals by a biologically and chemically significant classification of metal ions. *Environ Pollut Ser B*. 1980;1:3–2.
9. Gutierrez MF, Gagneten AM. Efecto de los metales sobre microcrustáceos de agua dulce. Avances metodológicos y potencialidad de cladóceros y copépodos como organismos test. *Rev Peru Biol* [Internet]. 2012 Feb 9 [citado 2019 Ene 10]; Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/460>
10. Thomas Jefferson National Accelerator Facility - Office of Science Education. Iron. It's Elemental - The Element Iron. JLab.org; 2019.
11. Los Alamos National Laboratory. Periodic Table of Elements. [Internet]. (n.d.). Disponible en: <https://periodic.lanl.gov/26.shtml>

12. López Olivares JR. Hierro: beneficios y riesgos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

14. Kinninburg DG. General purpose isotherms. *Environ Sci Technol*. 1986; 20:895–904.
15. Pedersen K. Gallionella. En: Reitner J, Thiel V, editores. *Encyclopedia of Geobiology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Dordrecht: Springer; 2011. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1\\_96](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_96)
16. Contaminación Ambiental. [Blog en Internet]. Blogspot.com; [citado 2023 Oct 7]. Disponible en: <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com/>
17. Heme and bilirubin metabolism. The Medical Biochemistry Page [Internet]. 2020 May 17. Disponible en: <https://themedicalbiochemistrypage.org/heme-and-bilirubin-metabolism/?ref=spanish404>
18. USEPA. A preliminary remediation goals table. Region 9: The Pacific Southwest. United States Environmental Protection Agency; 2004. Disponible en: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/files/04prgtable.pdf>
19. Heeren O. Efecto directo e indirecto del exceso de hierro (Fe) disponible en el suelo sobre el desempeño del cultivo de *Lepidium meyenii* Walp. (Maca). Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2021. Disponible en: [https://upch.edu.pe/Efecto\\_HeerenDiaz\\_Oscar.pdf](https://upch.edu.pe/Efecto_HeerenDiaz_Oscar.pdf)
20. Kanaparthi D, Conrad R. Role of humic substances in promoting autotrophic growth in nitrate-dependent iron-oxidizing bacteria. *Syst Appl Microbiol*. 2015; 38:184–8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S072320201500048X>
21. Cameron AJ, Liss PS. The stabilization of “dissolved” iron in freshwaters. *Water Res*. 1984; 18:179–85. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135484900678>
22. Millero FJ, Yao W, Aicher J. The speciation of Fe (II) and Fe(III) in natural waters. *Mar Chem*. 1995;50:21–39. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030442039500024L>
23. Chávez A. Determinación de niveles de plomo en pobladores adultos del asentamiento humano "Virgen de Guadalupe", distrito Mi Perú, de la provincia constitucional del Callao. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2018.
24. Rettig PC. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry): medical waste poses no threat to public. *Health Facil Manage*. 1990;3:60–2. ISSN: 0899-6210.

25. Londoño-Franco LF, Londoño-Muñoz PT, Muñoz-García FG. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnol Sect Agropec Agroind*. 2016;14(2):145–53.
26. Organización Mundial de la Salud. Intoxicación por Plomo (II) y salud. Octubre de 2014. Disponible en: <http://www.who.int/es/>
27. Tejada Sánchez KF. Optimización del proceso de adsorción de hierro total con quitina nativa de Emerita analoga “Muy Muy”, mediante análisis factorial. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2014. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4309>
28. Salazar Pinto BM, Zea Linares GV. Estudio del proceso de biosorción del endocarpio de aceituna (Olea europea) para la remoción de plomo (II) y cadmio (II) de soluciones acuosas. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2015. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3405>
29. Unión Europea. Contenidos máximos en metales pesados en procesos alimenticios. Valencia: Unión Europea; 2017. Disponible en: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
30. Halliwell B, Gutteridge JM. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochem J*. 1984;219:1–14.
31. Comisión Chilena del Cobre. Cochilco. Santiago de Chile: Comisión Chilena del Cobre; 2013. Disponible en: <http://www.cochilco.cl/quienes/>
32. Castilla Colpaert DK, Carrillo Monteagudo ED. Determinación y selección de un consorcio de microorganismos nativos de relaves mineros capaces de remover Cu(II) de una solución mineral sintética en un biorreactor RAEFA-EZ. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2014. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4305>
33. Rondan Rosas CI. Caracterización de cepas bacterianas halófilas, inmovilización y evaluación de la capacidad de remoción de Cu(II) y Cd(II). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2014. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4278>
34. Castro de Esparza ML. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. *Int Congr Mexico City*. 2006 Jun 20–24; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), Lima, Perú.
35. Othman F, Chowdhury MSU, Wan Jaafar WZ, Mohammad Faresh EM, Shirazi SM. Assessing risk and sources of heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*. 2018;36(1):248–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>

36. López D, Bundschuh J, Birkle P, Armienta M, Srarek L, Cornejo Ponce L, Ormachea M. Arsenic in volcanic geothermal fluids of Latin America. *Sci Total Environ.* 2012;57–75.
37. Flores Calla SS. Determinación de la capacidad fitorremediadora de *Chenopodium album* (liccha) en agua sintética contaminada con arsénico. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2018.
38. Hu B, Jia X, Hu J, Xu D, Xia F, Li Y. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14(1042).
39. Rebaza Peñafiel R, Rodríguez Rivera BL. Biodepuración parcial de arsénico de aguas contaminadas usando biorreactor de lecho móvil (MBBR) con carga bacteriana extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2014. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4334>
40. Neyra Paredes IA, Portilla Rivas JJ. Evaluación y optimización de la remoción de arsénico total en medio acuoso sobre residuos biomásicos de marlo de maíz (*Zea mays*) inertes y modificados con dióxido de manganeso. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2021. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4479>
41. Alfaro Campos JM, Del Carpio Condori GA. Influencia del EDTA, fertilizante y lombricompost en el mejoramiento de la fitoextracción de plomo utilizando plantas de *Schinus molle* y su relación con el crecimiento y respuesta fisiológica. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2016. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4312>
42. Khan MS, Zaidi A, Goel R, Musarrat J. *Biomanagement of metal-contaminated soils.* Springer Science & Business Media; 2011.
43. Chang HR, Tsao DA, Tseng WC. Hexavalent chromium inhibited the expression of RKIP of heart in vivo and in vitro. *Toxicol Vitr.* 2011;25:1–6. doi:10.1016/j.tiv.2010.06.012
44. National Academy of Science. *Research needs in water quality criteria. Chromium.* U.S. Government Printing Office. Washington D.C.; 1974. p. 86–9.
45. Molina Montoya N, Aguilar Casas P, Cordovez Wandurraga C. Plomo, Cromo III y Cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul.* 2010;8(1):77–88.
46. Manrique Pino PL. Optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de cromo (VI). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2014. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4308>

47. Pacheco Portugal JD. Evaluación del proceso de biosorción de Cromo (VI) usando residuos agroindustriales de la región Arequipa (cascarilla de arroz y chala de maíz). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2019. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4471>
48. Fernandez Chiara JG, Guzman Ponce KS. Bioadsorción de Cromo (VI) con *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizada, como residuo de la elaboración de la cerveza, para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas de la industria del curtido, Arequipa 2016. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2019. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4418>
49. Córdova Pantigoso AM, Medina Delgado MO. Biorremoción con semilla de papaya arequipeña (*Vasconcellea pubescens*) para cromo total en efluentes de curtiembres, Arequipa. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2019. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4420>
50. Herrera Guillén AF, Sosa Pulcha SE. Evaluación y comparación de la biosorción de Cromo (VI) usando cáscaras de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2018. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4380>
51. Ramírez Valverde AG. Evaluación del proceso de biosorción de la inflorescencia del *Chenopodium quinoa* (quinua) para la remoción de Cromo (VI). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2018. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4379>
52. Dávila Carazas CD. Remoción de Cromo (VI) en medio acuoso utilizando el endocarpio del fruto de la *Olea europaea* (olivo), aplicando un análisis factorial 2<sup>4</sup>. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2017. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4337>
53. Valdivia Tejada F. Bioprecipitación de metales pesados utilizando bacterias reductoras de sulfato (BRS) para su aplicación en un bioreactor sulfidogénico. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2017. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4333>
54. Torsvik V, Goksøyr J, Daae FL. High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl Environ Microbiol.* 1990;56:782–7.
55. Alexander M. Biodegradation and bioremediation. 2nd ed. London: Academic Press; 1999.
56. Atlas RM, Unterman R. Bioremediation. In: Demain AL, Davies JE, eds. *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2nd ed. Washington, DC: ASM Press; 1999. p. 666–81.

58. Lima A, Ribeiro M, Souza S, Teixeira P, Silva R, Meirelles C, Hofer E. Heavy metal tolerance (Cr, Ag and Hg) in bacteria isolated from sewage. *Braz J Microbiol.* 2012;43(4):1620–31.
59. Hodelin Barrera R, Horruitiner TB, Calzado Lamela O, Pérez Silva RM. Adsorción de cromo (VI) y plomo (II) sobre biomasa seca de *Kluyveromyces marxianus* CCEBI 2011. *Rev Cub Quím.* 2022;34(1):111–30.
60. Trujillo-del Bosque A, Dopico-Ramírez D, León-Fernández V, Díaz-López C. Remoción de Pb (II) usando meollo del bagazo de la caña de azúcar como biosorbente. *Rev Cub Quím.* 2021;33(3):250–73.
61. Bedoya-Betancur SA, Arriola-Villaseñor E, Valencia-González JD, Ortiz-Muñoz DA, Barrera-Zapata R, Hernández-Maldonado JA, Ardila-Arias AN. Adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales no domésticas usando residuos agroindustriales de banano. *Rev ION.* 2023;36(2):15–32. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2089/10.18273/revion.v36n2-2023002>
62. Bedoya-Betancur SA, Arriola-Villaseñor E, Valencia-González JD, Ortiz-Muñoz DA, Barrera-Zapata R, Hernández-Maldonado JA, Ardila-Arias AN. Adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales no domésticas usando residuos agroindustriales de banano. *Rev ION.* 2023;36(2):15–32. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2089/10.18273/revion.v36n2-2023002>
63. Rodríguez-T G, Riojas AAC, Zavaleta SLC, Aguinaga UQ, Taípe GM. Estudio electroquímico de la remoción de los iones Cd(II) en soluciones acuosas mediante carbón activado obtenido de la cáscara de naranja. *Rev Soc Quím Perú.* 2022;88(2):155–64. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2089/10.37761/rsqp.v88i2.387>
64. Sepúlveda P, Pavez O, Tume P, Sepúlveda B. Biosorption of copper ions with olive pomace and walnut shell. *Environ Geochem Health.* 2023;45(8):5713–26. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2089/10.1007/s10653-022-01303-y>
65. Nakamatsu J, Rodríguez N. Química de la quitina y el quitosano. p. 88.
66. Rogelio Bacon Z. Determinación de hierro al estado de óxido férrico. Facultad de Química e Ingeniería, U.C.A., Cátedra de Química Analítica Cuantitativa.
67. Álvarez M, Mavares D. Construcción de reactor biopelícula con soportes móviles y membranas para el tratamiento de aguas residuales. *Rev Digit Investig Postgrado Univ Nac Exp Politécnica “Antonio José de Sucre”, Vicerrectorado Barquisimeto (Venezuela).* 2012 Jun;2(2):143–52.

69. Miranda R. Producción de absorbentes de hidrocarburos a partir del marlo de maíz, provincia de Salta, Argentina. 2017.
70. Xiao X, Luo S, Zeng G, Wei W, Wan Y, Chen L, Guo H, Cao Z, Yang L, Chen J, Xi Q. Biosorption of cadmium by endophytic fungus (*Microsphaeropsis* sp. LSE10) isolated from cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresour Technol.* 2010;101(6):1668–74.

