



MAY 2019'

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA**



**“REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL DRENAJE
ÁCIDO DE MINERÍA Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD
DE LA CUENCA PORCÓN”**

RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ

Callao, 2019

PERÚ

Dedicatoria

*Dedico con amor y cariño a mis hijos
Cindell Joshua Arianna y Mathias y
especialmente a mi esposa Erika*

ÍNDICE

ÍNDICE	1
TABLA DE CONTENIDOS	4
TABLA DE FIGURAS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 Descripción de la realidad problemática	9
1.2 Formulación del problema	9
1.3 Objetivos	10
1.4 Limitantes de la investigación	10
II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional	12
2.2 Bases teóricas	15
2.2.1 Agua	15
A. Parámetros de calidad del agua	16
B. Contaminación del agua	18
2.2.2 Aguas Residuales	19
A. Tipos de aguas residuales	19
B. Aguas residuales de minería	20
2.2.3 Metales Pesados	22
A. Metales y el Medio Ambiente	23
B. Contaminación por Metales Pesados	24
C. Clasificación de Metales Pesados	25
D. Principales Metales Pesados	25
2.2.4 Biadsorción - Bioacumulación	26
2.2.5 Cuenca Hidrográfica	29
A. Cuenca Porcón	30



B.	Uso de agua para la Comunidad	30
C.	Descripción de instalaciones mineras en Cuenca Porcón	32
2.3	Conceptual	32
2.3.1	Método de Adsorción de Langmuir	32
2.3.2	Método de Adsorción de Freundlich	34
2.3.3	Método de Tratamiento de la Biomasa	35
2.4	Definición de Términos Básicos	35
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	36
3.1	Hipótesis	36
3.1.1	Hipótesis General	36
3.1.2	Hipótesis Específica	36
3.2	Variables de la Investigación	36
3.3	Definición conceptual de variables	37
3.3.1	Operacionalización de variables	37
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	38
4.1	Tipo y diseño de Investigación	38
4.2	Método de investigación	38
4.3	Población y muestra	38
4.4	Lugar de estudio y período desarrollado	38
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	39
4.6	Análisis y procesamiento de datos	39
4.7	Materiales	39
4.8	Métodos de Muestreo de Adsorción	40
4.8.1	Método de Adsorción de Langmuir	40
4.8.2	Método de Adsorción de Freundlich	42
4.9	Método de Tratamiento de la Biomasa	43
4.9.1	Biomasa	43
4.9.2	Cáscaras de las semillas del zapallo (Cucúrbita sp.) (Carbón Activado)	44
4.9.3	Desecho agro industrial hueso de aceituna (orujo) (Carbón Activado)	44



4.10	Reactor Batch	44
4.11	Métodos Instrumentales	45
V.	RESULTADOS	56
5.1	Resultados descriptivos	56
5.2	Resultados inferenciales	56
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	64
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	64
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	65
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS	73
	Anexo N° 1: Matriz de Consistencia	74
	Anexo N° 2: Ley de Recursos Hídricos	75
	Anexo N° 3: Imágenes tomadas en el Laboratorio de Ensayos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao	80



TABLA DE CONTENIDOS

Tabla 1	<i>Propiedades</i>	15
Tabla 2	<i>Clasificación de los parámetros indicadores de la calidad del agua</i>	17
Tabla 3	<i>Efectos sobre la Calidad del Agua</i>	18
Tabla 4	<i>Densidades de algunos importantes metales pesados y otras sustancias</i>	23
Tabla 5:	<i>Tratamiento Físico - Químico: Ventajas y Desventajas</i>	27
Tabla 6	<i>Resultados de Hierro (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5</i>	57
Tabla 7	<i>Resultados de Manganeso (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5</i>	58
Tabla 8	<i>Resultados de Cadmio (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5</i>	59
Tabla 9	<i>Resultados de Plomo (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5</i>	60
Tabla 10	<i>Resultados del Arsénico (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5</i>	61
Tabla 11	<i>Resultados de Antimonio (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, ph = 3-5</i>	62
Tabla 12	<i>Resultados de los parámetros físico – químicos y microbiológicos de la muestra de agua, resultado de la remoción</i>	63



TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Excitación y Decaimiento	46
Figura 2. Excitación y Emisión	48
Figura 3. Proceso de la Absorción Atómica	49
Figura 4. Emisión Atómica	51
Figura 5. Proceso de Absorción Atómica	52
Figura 7. Muestras de agua de la Cuenca Porcón	80
Figura 8. Imágenes de la Cucúrbita sp. y los Orujos antes del tratamiento para obtener Carbón Activado	81
Figura 9. Imágenes del tratamiento de aguas mediante el Sistema Batch y Biomasa	82
Figura 10. Imágenes de la determinación de las muestras con Métodos fisicoquímicos y microbiológicos	83
Figura 11. Imágenes de la determinación de Metales Pesados por Espectrofotometría Molecular y Absorción Atómica	84



RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio de bioadsorción de masa de residuos para la remoción de los metales pesados que se encuentran en las aguas de drenaje de minería, de la Cuenca Porcón y que repercuten en el sistema ecológico y en la salud humana.

El objetivo es tratar las aguas de efluentes mineros aplicando bioadsorbentes, realizando una caracterización físico-química, habiéndose determinado que los poros de la cáscara de zapallo (cucúrbita sp.) 0.50 cm³/g volumen total de poros, estructura microporosa, de un área de 774.6 m²/g para su uso en el tratamiento de aguas, y del Carbón Activado de los "huesos de aceituna", (desecho agroindustrial) con humedad del 10%, carbonizado a 600° C y activado con agua sobrecalentada, cuya propiedad de absorción del carbón se obtiene de acuerdo al número de Yodo. La metodología empleada de bioadsorción de metales pesados son ensayos tipo Batch y continuo, siguiendo los parámetros de pH ligeramente ácido (5,4 y 6,9) y tiempo de retención hidráulica de 24 y 48 horas. Determinación por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Como resultados de la caracterización de la muestra compuesta de agua en el laboratorio, se observó que presenta los valores: grasas y aceites 63 mg/l; sólidos sedimentables 15 mg/l; sólidos suspendidos totales 5481 mg/l; demanda química de oxígeno 1130 mg/l; sólidos totales 5570 mg/l; Hierro 145.6 mg/l; Manganeso 308.7 mg/l; Cadmio 0.2 mg/l; Plomo 0.015 mg/l; Arsénico 0.5 mg/l; Antimonio 0.006 mg/l.

Podemos concluir que las aguas de los ríos Grande y Porcón, están infectando negativamente a la comunidad de la Cuenca Porcón. La bioadsorción de la biomasa empleada es la mejor alternativa para remover los metales pesados a bajas concentraciones de las aguas de los ríos de la Cuenca Porcón.

Palabras claves:

Bioadsorción, Carbón activado, Espectrofotometría de Absorción Atómica.



ABSTRACT

In the present work, the study of the biadsorption of the mass of the residues for the removal of the heavy metals found in the drainage waters of the mining, of the Porcón Watershed and that have an impact on the ecological system was carried out. in human health.

The objective is to treat effluent water. Miners applying biadsorbents, perform a physic-chemical characterization, having realized the pores of the squash (cucurbit sp.) 0.50 cm³/g total pore volume, microporous structure, of an area of 774.6 m²/g for its use in the treatment of waters, and activated carbon from the "olive bones", (agro-industrial waste) with humidity of 10%, carbonized at 600° C and activated with superheated water, whose absorption property of the number of iodine is obtained in agreement. The methodology used for biosorption of heavy metals are batch and continuous tests, following the slightly acid pH parameters (5.4 and 6.9) and hydraulic retention time of 24 and 48 hours. Determination by Atomic Absorption Spectrophotometry.

As a result of the characterization of the sample composed of water in the laboratory, it is observed that it presents the values: fats and oils 63 mg/l; settleable solids 15 mg/l; total suspended solids 5481 mg/l; chemical oxygen demand 1130 mg/l; total solids 5570 mg/l; Iron 145.6 mg/l; Manganese 308.7 mg/l; Cadmium 0.2 mg/l; Lead 0.015 mg/l; Arsenic 0.5 mg/l; Antimony 0.006 mg/l.

We can conclude that the waters of the Grande and Porcón rivers are negatively infecting the community of the Porcón Watershed. Biadsorption of the biomass used is the best alternative to remove heavy metals from the waters of the rivers of the Porcón Watershed.

Key words:

Biadsorption, Activated carbon, Atomic Absorption Spectrophotometry.



INTRODUCCIÓN

La industria de explotación minera es una de las actividades más problemáticas en el mundo. La extracción minera y sus procesos son fuente de muchos contaminantes que están expuestos en el ambiente, de ahí la contaminación del agua debido al drenaje en los ríos, caracterizando su acidez y la cantidad de metales disueltos. Afectando la flora y la fauna pudiendo ser afectadas y los recursos hídricos pueden tornarse dañinos para el consumo humano, agrícolas y animales.

Un gran número de ríos en el Perú presentan contaminación metálica derivada de los procesos de oxidación de sulfuros resultantes de actividades mineras como es el caso de los ríos Grande y Porcón, aportando importante toxicidad al efluente.

En la solución del problema de investigación en lo referente al método de la remoción de metales en muestras de aguas ácidas de los ríos Grande y Porcón, de la Cuenca Porcón serán removidos por Biadsorción de masa residuales de cáscaras de semilla de zapallo y orujos deshidratados de aceitunas (carbón activado).

La importancia de la investigación permite seleccionar que clase de masa residual será la más óptima en la remoción de metales pesados de baja concentración por Biadsorción.

La investigación se justifica porque en la remoción de metales pesados de baja concentración usando masa residual mediante el método por Biadsorción, en el drenaje ácido de minería en la comunidad de la Cuenca Porcón, se determinó: sólidos sedimentales, sólidos totales, grasas y aceites, demanda química de oxígeno, Fe, Mn, Pb, As, Cd, siendo estos los causantes de contaminación de las aguas que usan la comunidad de la Cuenca Porcón.



I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La minería se califica como una actividad económica primaria, la cual se relaciona con la extracción de elementos de los cuales se pueden obtener diferentes beneficios. En general, las etapas que comprenden el proceso minero son: prospección, exploración, explotación, beneficio, fundición y refinación.

Desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como arsénico y selenio. Algunos de los efectos que producen los metales pesados en la salud humana son anomalías cromosómicas, daños en los riñones y cerebro, alteraciones dérmicas (melanosis), neurológicas (convulsiones), intestinales (diarrea), hepáticas (cirrosis), sanguíneas (anemia).

Cada una de las etapas del proceso minero causan diferentes impactos ambientales tales como: destrucción de la capa del suelo y vegetación, oxidación de minerales insolubles y formación de sustancia solubles con alto contenido de metales (drenaje ácido), generación de aguas residuales, residuos peligrosos, emisiones a la atmósfera.

1.2 Formulación del problema

Problema General

¿Qué métodos serán eficientes para la remoción de metales pesados del drenaje ácido de minería?



Problemas Específicos

1. ¿Qué características químicas presenta el drenaje ácido de minería?
2. ¿Los contaminantes del drenaje ácido de minería son Arsénico, cadmio, cobre, zinc, cromo, plomo, hierro?
3. ¿Cuál es el impacto ambiental en la comunidad de la Cuenca Porcón?

1.3 Objetivos

Objetivo General

Determinar los métodos para la remoción de metales pesados presentes en el drenaje ácido de minería.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua de drenaje ácido de minería en la Cuenca Porcón.
- Evaluar los contaminantes tóxicos que fluyen en las aguas de la Cuenca Porcón.
- Identificar los índices de calidad de las aguas de la Cuenca Porcón.

1.4 Limitantes de la investigación

Teórico

Al no contarse con las fuentes de información suficientes que tratan el tema de investigación, fue necesario ir a la Cuenca Porcón que se encuentra en Cajamarca – Perú ya que una parte fundamental de la metodología era la toma de muestra, conocer la comunidad y ver la realidad de la Comunidad y ver la realidad de la Comunidad ya que

son realizados 2 viajes, en 2 días cada uno, contando con financiamiento propio.

Temporal

En cuanto a los limitantes temporales e presentan durante el desarrollo de la investigación, fue en primer lugar el tema una cita con los pobladores o representantes de la Comunidad, cursándose varias llamadas y hacer contactos e indagar quienes eran las personas mas indicadas que pudieran brindar la información que se requería.

Espacial

En este ítem, la Comunidad de la Cuenca Porcón serán el objeto de estudio, se ha seleccionado para el presente estudio, bajo los criterios por existir compatibilidad con los objetivos de la investigación.



II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional

Internacional

1. **Mihova St. et al.** (2001), estudiaron la cinética de crecimiento y biosorción de Cu (II) utilizando cuatro tipos de biomasa: *Aspergillus niger*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Sacharomycopsis lypolytica* y *Saccharomyces cerevisiae*. Los mejores resultados de biosorción se obtuvieron con los microorganismos *S. cerevisiae* y *Ph chrysosporium*. Otro de los factores evaluados fue el efecto de la concentración del metal sobre el crecimiento, observándose que cuando la concentración inicial de metal alcanzaba 250 mg/L se obtenía un período de adaptación mayor y una biomasa, al final del experimento, menor con respecto a soluciones metálicas más diluidas. Con respecto a los estudios cinéticos de biosorción del Cu(II) se observó que el 75% del metal inicial fue removido en las primeras 6 horas.
2. **Da Costa A. y Pereira D.F.** (2001), realizaron estudios concernientes a la acumulación de zinc, cobre, cadmio y plomo sobre varios tipos de microorganismos del género *Bacillus*. Las capacidades máximas de adsorción reportadas fueron de 6.4 mol de Cu/g biomasa, 5.0 mol de zinc/g biomasa, 11.8 de cadmio/g biomasa y 1.8 mol de plomo/g biomasa para *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus* y *Bacillus subtilis*, respectivamente. Las soluciones de metales iniciales utilizada variaron entre los rangos de 1 y 88 mg/L y el pH de entre 7.4 y 7.6.



3. **Boddu V. et al. (2003)**, llevaron a cabo estudios preparando un nuevo biosorbente el cual consistía de soportes de alúmina cerámica recubiertos con quitosán. Los estudios realizados envían como fin el de evaluar la influencia del pH y de la adsorción de los iones sulfato y clorato sobre la eliminación de Cr (VI) en soluciones sintéticas y de campo. La comparación de los resultados mostró que el complejo de quitosán tiene una mayor capacidad de adsorción de cromo con respecto a otros tipos de biosorbente encontrados en la literatura. La isoterma de Langmuir fue utilizada para modelar los datos experimentales obteniéndose un valor máximo de 153.8 mg/g de quitosán.
4. **Dias M.A. et al. (2002)** efectuaron pruebas de remoción de metales pesados (Ni^{2+} , Cr^{6+} y Fe^{2+}) utilizando *Aspergillus terreus* suspendido en una matriz de poliuretano. Las capacidades de adsorción máxima obtenidas fueron 164.5, 96.5 y 19.6 mg/g de biomasa de hierro, cromo y níquel respectivamente.
5. **Uchida M. et al. (2001)**, realizaron pruebas experimentales utilizando carbón activado como soporte para determinar la capacidad de adsorción de hierro en presencia de cloroformo. Las máximas capacidades de adsorción reportadas fueron de 18.5 mg Fe/g de C y de 10.4 mg Cloroformo/g de C utilizando soluciones iniciales conteniendo 1.5 mg Fe(III)/L y 1.0 mg Cloroformo/L.
6. **Quintelas C. y Tavares T. (2001)**, estudiaron la biosorción de metales pesados por una cepa de *Arthrobacter viscosus* inmovilizada en carbón activado granular en un reactor de lecho fijo. En la prueba realizada en el reactor, un tiempo de residencia de 1.2 min y concentraciones iniciales (4-11 mg de metal/L) de Cr(VI) y Cd(II), fueron utilizadas, obteniéndose



remociones comprendidas entre 50-100% y 20-100 % respetivamente. Para las concentraciones iniciales de 10 mg Cr/L y 11 mg Cd/L, la cantidad final adsorbida fue de 8.5 mg de Cr/g de biosorbente respectivamente.

7. **Rivera Utrilla J. et al. (2003)** efectuaron experimentos de biosorción de metales pesados (Pb, Cd y Cr) utilizando una cepa de *Escherichia coli* sobre un soporte de carbón activado. Los valores de la capacidad de adsorción alcanzados fueron de 26.4, 7.7 y 3.3 mg de metal adsorbido/g biosorbente, para el Pb(II), Cd(II) y Cr(VI) respetivamente.

Nacional

1. **Chung B. (2008)** Control de los contaminantes químicos en el Perú. Rev. Perú Med. Exp Salud Pública. Vol 25 (4) p. 413-418.
2. **Huaranga, F.; Mendez, E.; Quilcat, V.; Huaranga, F. (2012).** Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche 1980 – 2010, La Libertad – Perú. Rev. Scientia Agropecuaria. Scientific journal of Universidad Nacional de Trujillo. Vol. 3 (3) p. 235 – 247.
3. **Rivera, H.; Chira, J.; Zambrano, K.; Petersen, P. (2007)** Dispersión secundaria de los metales pesados en sedimentos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín Departamento de Lima. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Vol 10 (20), p 19-25.
4. **Siccha M. L. (2010).** Eficacia de la biosorción de Plomo mediante cochayuyo pre-tratado (*Chondracanthus chamissoi*). Callao – Perú. Universidad Nacional del Callao.
5. **Sinchi GM. (2007).** Evaluación del comportamiento ambiental de los contaminantes en residuos sólidos mineros metalúrgicos (RSMM) por el método de extracciones



secuenciales y aplicación de modelos de movilidad y transporte. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Vol. 10 (19), p. 78 – 86.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Agua

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la tierra desde hace más de 3,000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta.

Tabla 1

Propiedades

Propiedades Físicas	Propiedades Químicas
Estado Físico: Líquido, sólido y gaseoso	Reacciona con los óxidos ácidos
Color: Incolora	Reacciona con los óxidos básicos
Sabor: Insípida	Reacciona con los metales
Olor: Inodoro	Reacciona con los no metales
Densidad: 1 g./c.c. a 4°C	Se unen las sales formando hidratos
Punto de congelación: 0°C	---
Punto de ebullición: 100°C	---
Presión crítica: 217.5 atm	---
Temperatura crítica: 374°C	---

Fuente: http://fisicanet.com.ar/quimica/aguas/ap05_aguas.php

Su naturaleza se compone de tres átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno que unidos entre sí forman una molécula de



agua, H₂O con las propiedades que se muestran en la Tabla 1.

Gran parte del agua de nuestro planeta, alrededor del 98%, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos. el agua dulce que poseemos en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves eternas, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos.

A. Parámetros de calidad del agua

Para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua pueden originar en su calidad, empleamos parámetros los cuales se clasifican en hidrológicos, físicos, químicos y biológicos.

A estos parámetros se les denomina indicadores de calidad de agua.

En la Tabla 2, se resumen los parámetros que se encuentran en cada clasificación.

Con el fin de poder establecer los límites dentro de los cuales una modificación de los componentes del agua pueda ser aceptada de manera que no resulte impropia para los distintos usos o para el medio mismo, en las reglamentaciones internacionales se establecen distintas limitaciones.

Se debe tener en cuenta que los parámetros físicos no son índices absolutos de contaminación y sus valores normales pueden variar considerablemente y, por lo tanto, en cada caso se mide la desviación con respecto a la norma. Estos también se denominan como



parámetros organolépticos, es decir que se detectan en primera instancia por los órganos de los sentidos.

Tabla 2

Clasificación de los parámetros indicadores de la calidad del agua

Clasificación		Parámetros
Químicos	▪ No específicos	- Alcalinidad - pH - conductividad - Dureza - Oxígeno disuelto (OD)
	▪ Específicos	- Nitrógeno (NH ₄ , NO ₃) - Cloruros - Detergentes - Fenoles - Pesticidas - Material orgánico oxidable
Físicos	▪ Color ▪ Temperatura ▪ Turbiedad ▪ Olor ▪ Sabor	
Hidrológicos	▪ Caudal ▪ Velocidad ▪ Mezcla	
Biológicos	▪ Patógenos	- Coliformes fecales - Virus - Vibro cólera
	▪ No patógenos	- Población mesófila - Zooplancton - Algas

Fuente: http://fisicanet.com.ar/quimica/aguas/ap05_aguas.php



B. Contaminación del agua

El agua se considera contaminada cuando su composición o su estado natural son afectados. Con el aumento de la población y el surgimiento de la actividad industrial, la contaminación de los ríos, lagos y aguas subterráneas crecen constantemente.

Tabla 3

Efectos sobre la Calidad del Agua

Usos del agua	Efectos sobre la calidad del agua
Doméstico / Industrial	- Disminución del oxígeno disuelto.
Industria / Minería	- Disminución del oxígeno disuelto; contaminación del agua con metales y compuestos orgánicos; drenaje ácido de minas
Termoeléctrico	- Incremento de la temperatura del agua.
Irrigación / Residuos animales	- Salinización del agua superficial y agua subterránea, disminución del oxígeno disuelto.

Fuente: Seoanez, M. (1998). Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. Segunda Edición. Ediciones Mundi-prensa.

La calidad de agua es tan importante como su cantidad. Aunque una vez utilizada la mayoría de agua retorna a sus cauces originales, inevitablemente, su calidad se degrada. Estos efectos se muestran en la Tabla 3.



2.2.2 Aguas Residuales

Son aquellas que su calidad se ve afectada por el contacto con residuos (sobrantes) de las diversas actividades que se realizan, desde las aguas que son utilizadas a nivel doméstico, como aquellas que se usan en otro tipo de tareas como el caso de la ganadería o hasta de la agricultura, todo eso que se mezcla con el agua se le denomina aguas residuales.

Podemos citar el agua que sale de la llave de tu lavadero, en donde lavas los trastes y que se utiliza para enjuagar los accesorios de cocina para que éstos se encuentren limpios, una vez que tiene contacto con el jabón o cualquier otra sustancia de limpieza en automático cae en la denominación de **aguas residuales**.

A. Tipos de aguas residuales

1. Aguas residuales domésticas. Esta clase de aguas residuales son aquellas aguas que tienen su origen en viviendas y están producidas en esencia por el metabolismo humano y por las actividades que se llevan a cabo en el ámbito doméstico.
2. Aguas residuales industriales. Dentro de este tipo de aguas residuales se encuentran todas aquellas aguas residuales que han sido vertidas desde un lugar con finalidad comercial o industrial, que sean distintas de las aguas residuales domésticas y las aguas residuales de origen pluvial.
3. Aguas residuales urbanas. Hacen referencia a aquellas aguas que tienen aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales.



También aquellas aguas que incluyen las aguas de corriente pluvial.

B. Aguas residuales de minería

Las actividades minero-metalúrgicas y el agua están íntimamente ligadas.

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población y/o alguna actividad productiva, a veces, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las viviendas, instituciones establecimientos comerciales e industriales, más las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pudieran agregarse.

Todas estas aguas afectan de algún modo la vida normal de sus correspondientes cuerpos receptores. Cuando este efecto es suficiente para hacer que las mismas no sean susceptibles de una mejor utilización, se dice que están contaminadas. En este contexto una mejor utilización significa que estas puedan ser usadas con fines domésticos, industriales, agrícolas, recreacionales, etc.

El volumen y la composición química de las fuentes potenciales de generación de aguas residuales en la industria minero-metalúrgica varían ampliamente, dependiendo de:

- El tipo de operación de minado.
- La hidrología de la mina.
- La naturaleza del mineral.



- Los procesos de beneficio.
- Los métodos de disposición en depósitos de relaves.
- La localización de los depósitos de relaves.
- Los tipos de los depósitos de relaves.

Las principales fuentes potenciales de generación de las aguas residuales en la industria minero-metalúrgica son:

- Aguas de minas.
- Drenajes ácidos de minas.
- Relaves: efluentes metalúrgicos de plantas concentradoras.
- Drenaje Ácido de Relaves (ARD).
- Aguas residuales de plantas concentradoras fundiciones y refinerías, o tratamiento de cualquier mineral, concentrado, metal o subproducto.
- Aguas ácidas de depósitos de desmontes.
- Aguas residuales domésticas.

Aguas de minas

Las aguas de minas sólo son fuentes potenciales de generación de aguas residuales, si están acompañadas de:

- Concentraciones de sólidos suspendidos por encima de la norma.
- pH por debajo o por encima de las normas.
- Altas concentraciones de metales disueltos tales como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros.



En cualquiera de estos casos, las aguas de minas necesitarán tratamiento, antes de ser vertidas al ambiente.

Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, zinc, mercurio, plata, níquel, cadmio y arsénico, son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestres y acuáticas.

Las normas oficiales peruanas sobre la Ley de Recursos Hídricos (aprobada el 23 de marzo del 2009) consideran metales contaminantes del agua:

Aluminio Plata Cadmio Arsénico Cobre Fierro Mercurio Cobalto Vanadio Manganeso Níquel Zinc Magnesio Antimonio Cromo Selenio Titanio Berilio Estaño Boro Molibdeno Tungsteno Germanio Bismuto Plomo Telurio

2.2.3 Metales Pesados

Se denominan metales pesados a aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Son elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 y 200.59 g (como se muestra en la Tabla 4, según Baird y Cann (2011)) y presentan una densidad superior a 4 g/cm³.

Aunque asociamos a los metales pesados con la contaminación del agua y de los alimentos, en realidad son transportados en su mayor parte de un lugar a otro a través del aire, como gases o especies absorbidas en partículas materiales suspendidas.



Tabla 4

Densidades de algunos importantes metales pesados y otras sustancias

Sustancias	Densidad (g/cm³)
Hg	13.5
Pb	11.3
Cd	8.7
As	5.8
H ₂ O	1.0
Mg	1.7
Al	2.7

Fuente: Baird, C. (2011). Química Ambiental. Editorial Reverté.

A. Metales y el Medio Ambiente

Los metales pesados se encuentran dispersos en el medio ambiente en mayor proporción, en el suelo y es a gran profundidad donde se le encuentran en grandes rocas, de donde son extraídos para utilizarlos en la vida cotidiana.

Naturalmente han estado en la tierra por millones de años y el ambiente ha estado en completa armonía con ellos mismos porque también los metales son parte básica del ambiente natural, sin embargo, de unos 600 años hacia la actualidad, han sido explotados por el hombre y han descubierto que son elementos muy aprovechables. Kiely (1998).

Se denomina Metal a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio y el galio).

Los metales se diferencian del resto de elementos, fundamentalmente en el tipo de enlace que constituyen sus átomos. Se trata de un enlace metálico y en él los electrones forman una nube que se mueve, rodeando todos los núcleos. Este tipo de enlace es el que les confiere las propiedades de conducción eléctrica, brillo, entre otros.

B. Contaminación por Metales Pesados

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como Plomo, Mercurio, Cadmio, Arsénico y Cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras los desechos contaminan las aguas subterráneas. Cuando se desechan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.

(<http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>)



C. Clasificación de Metales Pesados

Dentro de los metales pesados encontramos dos grupos principales:

- a) Los oligoelementos o micronutrientes.
- b) Los que no tienen función biológica.

Los oligoelementos o micronutrientes, son aquellos que los seres vivos necesitamos en pequeñas cantidades para realizar las funciones necesarias del organismo de los que se pueden destacar Arsénico (As), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu) Hierro (Fe), Molibdeno (Mo), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn).

Los metales que no tienen ninguna función para los seres humanos se refieren a los metales que en altas concentraciones resultan tóxicos y por ende dañinos para la salud. La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica. Baird y Cann (2011)

D. Principales Metales Pesados

Dentro de los principales metales, que, por presentar un mayor peligro ambiental debido a su uso extensivo, a su toxicidad y a su amplia distribución, encontramos al Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Hierro (Fe) y Arsénico (As) (el Arsénico no es realmente, un metal pero sí un semimetal, ya que sus propiedades son intermedias entre las de un metal y las de un no-metal).

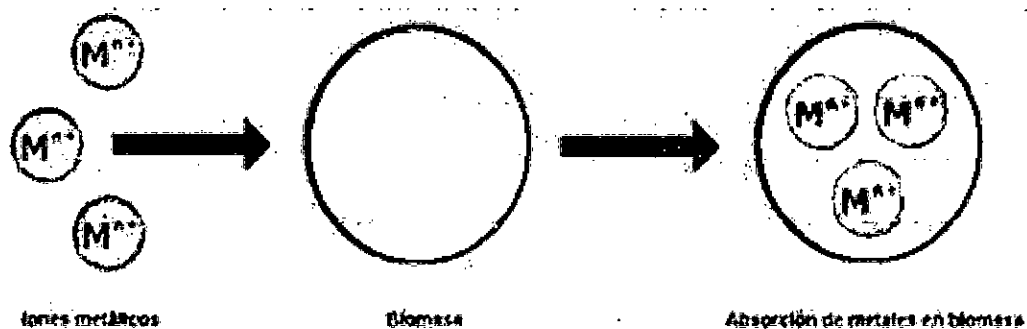


2.2.4 Biadsorción - Bioacumulación

A partir de la década de los ochentas se empezaron a demostrar las capacidades que tienen varios microorganismos para remover grandes cantidades de metales pesados de efluentes líquidos. Estas capacidades han sido estudiadas con la finalidad de desarrollar nuevos sistemas de tratamiento que puedan reemplazar de una manera eficiente a los métodos de tratamiento convencionales.

El proceso de biadsorción puede ser definido como la captación de contaminantes (metales pesados en este caso) desde una solución acuosa por un material biológico a través de mecanismos fisicoquímicos o metabólicos. Como los metales pesados pueden llegar a tener efectos letales en la biomasa viva, ésta tiene la capacidad de poner en funcionamiento ciertos mecanismos para contrarrestar los efectos tóxicos de los metales. Los dos mecanismos diferenciados para la captación de los metales pesados por parte de la biomasa son:

Bioacumulación: Basada en la absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células de biomasa vivas.



Bioadsorción: Basada en la adsorción de los iones en la superficie de la célula. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática.

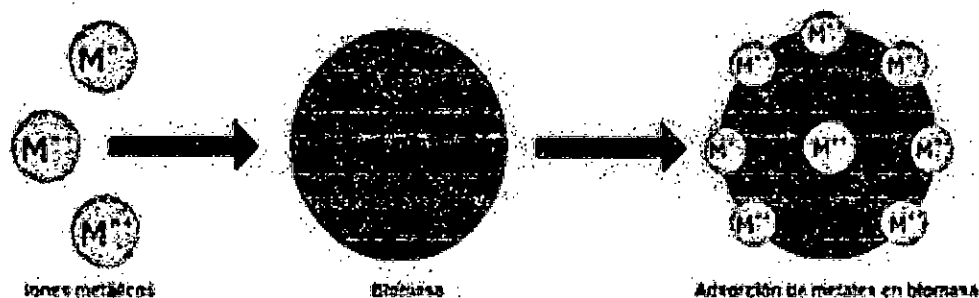


Tabla 5:

Tratamiento Físico - Químico: Ventajas y Desventajas

Método	Ventajas	Desventajas
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad de operación. • Alto nivel de eliminación de metales pesados. • Bajo costo de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • La presencia de agentes orgánicos disminuye su rendimiento. • No es selectivo. • Se necesitan agentes coagulantes y floculantes para separar los metales del efluente. • Generación de todos con alto costo de tratamiento.
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible la eliminación de metales a muy bajas concentraciones. • Presentan alta selectividad. • Es posible la recuperación de los metales por electrólisis. 	<ul style="list-style-type: none"> • La presencia de Calcio, Sodio y Magnesio disminuye su rendimiento debido a que pueden saturar la resina. • La posible competencia entre metales pesados y otros cationes. • Las resinas no son muy tolerantes al cambio en pH.

Método	Ventajas	Desventajas
Ósmosis inversa	<ul style="list-style-type: none"> • Altos niveles de remoción. • Es un proceso fácilmente automatizado. • No hay cambio en la composición química de las aguas residuales. • La recuperación de metales pesados es posible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los materiales orgánicos pueden envenenar la resina. • La solución contaminada debe de ser previamente tratada para eliminar los materiales en suspensión. • Mediana selectividad y tolerancia a cambios de pH. • Bajo tiempo de vida con soluciones corrosivas. • Requiere de presiones muy altas para su funcionamiento. • Requiere de mantenimiento frecuente para evitar saturación de la membrana. • Alto costo por reemplazar la membrana. • Es necesario separar las partículas insolubles o en suspensión para evitar saturación de las membranas.
Adsorción	<ul style="list-style-type: none"> • Altamente efectivo a muy bajas concentraciones de metal. • Fácil de operar. • Permite la fijación de metales en presencia de otros cationes. • La recuperación de metales pesados es posible. • El adsorbente puede ser regenerado. 	<ul style="list-style-type: none"> • El costo del adsorbente y su regeneración pueden ser muy altos. La capacidad de adsorción es altamente dependiente del pH. • Es necesario eliminar los materiales en suspensión antes de que el efluente sea tratado.

Fuente: Elaboración propia

La remoción y recuperación de metales pesados de efluentes líquidos por el mecanismo de biosorción ha sido utilizando



diferentes combinaciones de metales y biadsorbentes, sus ventajas más evidentes en comparación con los métodos tradicionales son:

- Uso de materiales renovables que pueden ser producidos a bajo costo.
- Alta capacidad para acumular iones metálicos de manera eficaz y rápida.
- Capacidad de tratar grandes volúmenes de agua contaminada debido a la rapidez del proceso.
- Alta selectividad en relación a metales específicos.
- Capacidad de manipular varios metales pesados y mezclas de residuos.
- Gran reducción en el volumen de los residuos peligrosos producidos.
- Bajo capital invertido.
- Actúa bajo un amplio rango de condiciones fisicoquímicas incluyendo temperatura, pH y presencia de otros iones.

2.2.5 Cuenca Hidrográfica

Según la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 9338, Título Preliminar, Artículo III ítem 10)

Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica. El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.



A. Cuenca Porcón

Visión General Geográfico

Las condiciones de cantidad y calidad actuales del agua superficial en las quebradas, ríos, canales y otras aguas, corriente abajo del distrito minero de Yanacocha, el alcance geográfico de la investigación incluye corrientes y canales en la Cuenca Porcón, potencialmente influenciada por actividades e instalaciones mineras.

La Cuenca Porcón drena el lado sur del distrito minero de Yanacocha, e incluye 2 subcuencas hidrográficas principales, el Rio Grande y el Rio Porcón. Los dos ríos convergen al norte de Cajamarca para formar el Rio Mashcón. La parte de la Cuenca en estudio va desde el límite de la mina a la ciudad de Cajamarca, una distancia de 12 km.

B. Uso de agua para la Comunidad

Tanto comunidades rurales como urbanas están preocupadas acerca de problemas de calidad y cantidad de agua asociados con la mina. El uso de tierra en el área que rodea el Distrito Minero de Yanacocha es principalmente agrícola. Aproximadamente 30,000 personas viven en comunidades campesinas rurales dentro del área que rodea el distrito minero, numerosos canales de irrigación transportan agua para uso agrícola y doméstico sobre terreno accidentado desde corrientes a campos, y algunos de estos canales se originan en propiedad de la mina y fluyen a lo largo de contornos dentro y fuera de la propiedad de la mina.



El área de estudio incluye un gran número de canales. El agua en los canales es usada para irrigación, lavado y bebida de ganado, podría ser usada como fuente de agua potable por algunos pobladores, aunque este uso no está bien documentado. Cultivos en el área de Cajamarca incluyen papas, menestras y granos. Además, muchos pastos son irrigados y cultivados para pastura. Los cultivos son irrigados sólo en la estación seca, en tanto que los pastos requieren alguna irrigación todo el año. Los canales corren a lo largo de pendientes, y están contruidos para mantener una gradiente baja.

Muchas comunidades rurales en el área de estudio tienen suministros de agua potable que han sido contruidos por Minera Yanacocha u otras organizaciones. Las fuentes generalmente sirven como fuente para suministro de agua potable rural.

La ciudad de Cajamarca tiene dos plantas de tratamiento de agua: Santa Apolonia y El Milagro que suministran agua a aproximadamente 150,000 residentes.

El agua tratada en Santa Apolonia suministra el 30% del agua para la ciudad de Cajamarca y se origina en el Río Ronquillo (Cuenca Porcón) esta cuenca a la que pertenece este río está fuera del área de influencia de la minera.

El agua tratada en la Planta El Milagro suministra el 70% restante del agua para la ciudad de Cajamarca y se origina en la Cuenca Porcón. Dos grandes captaciones suministran agua a El Milagro, una en el Río Porcón y una en el Río Grande. La captación del



Río Grande es actualmente la única captación de agua potable para Cajamarca con instalaciones mineras en su nacimiento. La mayoría de comunidades rurales y urbanas no usan pozos de agua subterránea para agua potable o irrigación.

C. Descripción de instalaciones mineras en Cuenca Porcón

Instalaciones mineras en la Cuenca Porcón incluyen partes de los complejos Yanacocha, Carachugo, San José, y La Quinua, todas las instalaciones mineras existentes en la Cuenca Porcón están en la sub-cuenca del Río Grande. La sub cuenca Quebrada Encajón contiene las operaciones Carachugo, incluyendo el tajo abierto Carachugo y el botadero de desmonte Carachugo Norte; las operaciones de Yanacocha, incluyen partes del tajo abierto Yanacocha Sur; las operaciones San José, incluye una parte del tajo abierto San José y una parte del botadero de desmonte San José; las instalaciones de La Quinua, incluyen el tajo abierto La Quinua y la parte de la planta de oxidación y botadero de desmonte de La Quinua que están en la sub cuenca Quebrada Callejón. La AWTP La Quinua descarga agua a la Quebrada Callejón.

2.3 Conceptual

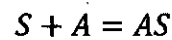
2.3.1 Método de Adsorción de Langmuir

Es el modelo más simple y el más antiguo formulado por Langmuir en 1918. Supone que las moléculas se adsorben sobre la superficie hasta formar una monocapa completa



(saturación) en cuyo momento cesa la adsorción, y que la superficie es homogénea.

La adsorción es frecuentemente descrita en términos de isoterma el cual muestra una relación entre la actividad de la fase acuosa (concentración) de adsorbato y cantidad adsorbida a temperatura constante, asumimos que los sitios de adsorción S, en la superficie de un sólido (adsorbente) son ocupados por el adsorbato A de la solución. Podemos derivar la ecuación de Langmuir de la aplicación de la ley de masa. Hernandez, J.; Reyna, L.; Ortiz, E.; Rojas, S.; Treviño. (2018).



Esto implica que las actividades de las especies superficiales son proporcionales para sus concentraciones. La ecuación del modelo de Langmuir es como sigue:

$$q = \frac{q_{max}kC_{eq}}{1 + kC_{eq}}$$

A bajas superficies cubiertas, la isoterma de Langmuir se reduce a una relación lineal de calibración del modelo de una serie de datos experimentales que pueden ser realizados por una simple regresión de la forma linealizada del modelo.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max}K} \cdot \frac{1}{C_{eq}}$$

Siendo:

q g adsorbato / g adsorbente

- q_{max} Máxima cantidad de adsorbato que puede adsorberse por g adsorbente
- K Constante de equilibrio de adsorción
- C_{eq} Concentración de adsorbato cuando el sistema de adsorción alcanza el estado de equilibrio termodinámico.

2.3.2 Método de Adsorción de Freundlich

La isoterma de Freundlich fue una de las primeras ecuaciones propuestas para relacionar la cantidad adsorbida con la concentración del material en la polución.

Este modelo muestra una relación empírica que nos permite determinar con exactitud la capacidad de adsorción; solo es aplicado a rangos de concentración bajos e intermedios.

Lazo, J.; Navarro, A.; Sun-Kou, M.; Llanos, B. (2008).

La ecuación de Freundlich se expresa a través de la ecuación:

$$q = kC_{eq}^{1/n}$$

O en su forma lineal:

$$\ln q = \ln k + \ln C_{eq}$$

- q g adsorbato / g adsorbente
- K Constante de equilibrio de adsorción
- C_{eq} Concentración de adsorbato cuando el sistema de adsorción alcanza el estado de equilibrio termodinámico.



2.3.3 Método de Tratamiento de la Biomasa

Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

2.4 Definición de Términos Básicos

Metales pesados. Se denomina a aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua, son elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 y 200.59 g y presentan una densidad de 4 g/cm³.

Bioadsorción. Capacidad que tienen varios microorganismos para remover grandes cantidades de metales pesados de efluentes líquidos.

Bioacumulación. Absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células y biomasa vivas.



III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

El método más eficiente para la remoción de metales pesados del drenaje ácido de mina (DA) entre los métodos comparados es el método de Biomasa amortizada con diferentes soportes.

3.1.2 Hipótesis Específica

1. Las características del agua de los ríos Grande y Porcón, presentan concentraciones fuera de los límites permisibles de metales.
2. La metalurgia de Biomasa amortizada es aplicada en un medio ácido de minería.
3. El impacto ambiental en la comunidad de la Cuenca Porcón es significativa.

3.2 Variables de la Investigación

La presente investigación se caracteriza por ser experimental, descriptiva transeccional, estudiando las variables a lo largo del tiempo establecido por ser el determinante en la relación causa-efecto.

Por su naturaleza, todas las variables identificadas del tipo cualitativo por su dependencia X es dependiente y las variables Y y Z son independientes. Es decir:

$$X = g(Y - Z)$$



X= Cantidad removida de cada uno de los metros totales y disueltos presentes en el agua del DAM (arsénico, cadmio, cobre, zinc, cromo, plomo) y desuelto hierro.

Y=Impacto Ambiental

Z=Aguas contaminadas

3.3 Definición conceptual de variables

3.3.1 Operacionalización de variables

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Método
Cantidad removida (%) de cada uno de los metales totales y disueltos presentes en el agua del DAM (arsénico, cadmio, cobre, zinc, cromo, plomo) y disuelto (hierro)	Determinación analítica de los metales As, Cd, Cu, Zn, Cr, Pb y Físico químico	ppm de metales totales y disueltos	Relacionando la variable X así como Y y Z.
Independiente	Dimensiones	Indicadores	Método
Y= Impacto Ambiental	Contaminación ambiental en la Comunidad	Medios tecnologías de Biomasa amortizada con diferentes soportes	Medición en Laboratorio
Z= Aguas contaminadas	Determinación analítica por espectrofotometría de Absorción Atómica	Límites máximos permisibles (LMPs)	Método de Absorción Atómica

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de Investigación

La investigación es de tipo experimental, de campo, descriptiva y transeccional.

4.2 Método de investigación

Método analítico por espectrofotometría de absorción atómica y métodos físico químicos.

4.3 Población y muestra

La población está constituida por las aguas de los ríos Grande y Porcón por lo cual se ha tomado como muestra 10 litros.

4.4 Lugar de estudio y período desarrollado

Punto de monitoreo y análisis de laboratorio. Cooperativa Granja Porcón.

3 ríos y quebradas y 1 canal en 6 lugares.

Las muestras serán analizadas por acidez, alcalinidad, carbonatos, cloruros, cianuro total y libre, dureza, fluoruro, TDS, sulfatos y metales totales, cianuro WAD, nitratos y TSS, bacterias coliformes totales y fecales.



4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Se ha coordinado un programa de vigilancia y control que permite definir las causas de los cambios de calidad de las aguas, las fuentes de contaminación existentes o potenciales, el control incluye con frecuencia el muestreo de ríos, pozos o manantiales, determinación in-situ de temperatura, pH, Eh DBO, DQO.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

La investigación es experimental, las técnicas y estadísticas que se emplearon a los resultados experimentales son de tendencia central, así como media poblacional, mediana, desviación estándar, rango y la prueba de significancia, intervalo de confianza del 95%.

4.7 Materiales

Matraces aforados 100, 50, 25 mL

Vasos de precipitación de 100, 50, 25 mL

Piseta

Frascos de vidrio de 1 L con tapa hermética

Bureta de 50 y 25 mL

Crisoles de porcelana $\varnothing = 2$ cm.

Columna de 28 cm altura y 4.5 cm diámetro - 3

Equipos

Espectrofotómetro por Absorción Atómica de flama (acetileno – aire)

Espectrofotómetro Molecular UV-VIS

Cabina de ensayo

Cocinilla eléctrica



Lámpara de cátodo hueco de Mn, Fe, Cd, Pb, Sb, As

Potenciómetro (pH)

Conductímetro

Equipo DBO, DQO

Horno mufla

Reactivos

Ácido Clorhídrico

Ácido Nítrico

Sulfato de Sodio

Hidróxido de Calcio

Cloruro de Sodio

Hidróxido de Sodio

Ácido Sulfúrico

Agua bidestilada

Soluciones estándar

Ob, Sb, As, Fe, Hg, CN, Mn, Cd.

Métodos

1. Método Espectrofotométrico por Adsorción Atómica.
2. Método Potenciométrico
3. Método Conductimétrico
4. DBO
5. DQO

4.8 Métodos de Muestreo de Adsorción

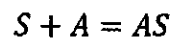
4.8.1 Método de Adsorción de Langmuir

Es el modelo más simple y el más antiguo formulado por Langmuir en 1918. Supone que las moléculas se adsorben



sobre la superficie hasta formar una monocapa completa (saturación) en cuyo momento cesa la adsorción, y que la superficie es homogénea.

La adsorción es frecuentemente descrita en términos de isoterma el cual muestra una relación entre la actividad de la fase acuosa (concentración) de adsorbato y cantidad adsorbida a temperatura constante, asumimos que los sitios de adsorción S, en la superficie de un sólido (adsorbente) son ocupados por el adsorbato A de la solución. Podemos derivar la ecuación de Langmuir de la aplicación de la ley de masa.



Esto implica que las actividades de las especies superficiales son proporcionales para sus concentraciones. La ecuación del modelo de Langmuir es como sigue:

$$q = \frac{q_{max}kC_{eq}}{1 + kC_{eq}}$$

A bajas superficies cubiertas, la isoterma de Langmuir se reduce a una relación lineal de calibración del modelo de una serie de datos experimentales que pueden ser realizados por una simple regresión de la forma linealizada del modelo.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max}K} \cdot \frac{1}{C_{eq}}$$

Siendo:

q g adsorbato / g adsorbente



- q_{max} Máxima cantidad de adsorbato que puede adsorberse por g adsorbente
- K Constante de equilibrio de adsorción
- C_{eq} Concentración de adsorbato cuando el sistema de adsorción alcanza el estado de equilibrio termodinámico.

4.8.2 Método de Adsorción de Freundlich

La isoterma de Freundlich fue una de las primeras ecuaciones propuestas para relacionar la cantidad adsorbida on la concentración del material en la polución.

Este modelo muestra una relación empírica que nos permite determinar con exactitud la capacidad de adsorción; solo es aplicado a rangos de concentración bajos e intermedios.

La ecuación de Freundlich se expresa a través de la ecuación:

$$q = kC_{eq}^{1/n}$$

O en su forma lineal:

$$\ln q = \ln k + \ln C_{eq}$$

- q g adsorbato / g adsorbente
- K Constante de equilibrio de adsorción
- C_{eq} Concentración de adsorbato cuando el sistema de adsorción alcanza el estado de equilibrio termodinámico.



4.9 Método de Tratamiento de la Biomasa

4.9.1 Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

Tipos

Biomasa animal. Es producido a través de la cadena biológica.

Biomasa vegetal. Es generado a partir de la fotosíntesis.

Biomasa no Animal

En el proceso de fotosíntesis, las plantas verdes captan la energía solar gracias a la clorofila, y, mediante un mecanismo electroquímico, transforman productos minerales como el dióxido de carbono y el agua, en sustancias orgánicas y oxígeno por acción de la radiación solar. La materia orgánica obtenida, que posee un alto valor energético asociado a su estructura interna, se conoce como biomasa vegetal. En el proceso, la energía de la radiación solar se transformará en energía química. La transformación energética asociada a este proceso tiene un rendimiento bajo, ya que, del conjunto de longitudes de onda del espectro solar, sólo la radiación solar comprendida en el rango de longitud de onda de 0.4 a 0.7 metros es válida para el proceso, lo que supone una cierta restricción. El rendimiento en el proceso de generación de



biomasa a partir de energía solar es muy bajo, de tan sólo, entre el 3 y el 5%.

4.9.2 Cáscaras de las semillas del zapallo (Cucúrbita sp.) (Carbón Activado)

Activación de la biomasa residual, con cloruro de Zinc a 600°C, durante 2 horas en atmósfera de Nitrógeno, usando como activador químico con HNO₃, mejorando hasta el 35% la capacidad de eliminar residuos de Pb. 4.

4.9.3 Desecho agro industrial hueso de aceituna (orujo) (Carbón Activado)

Talledo Bermudez, Jesús; "Uso de los residuos de hueso de aceituna para obtener carbón activado".

Barreto Pio, Carmen; "Obtención de Carbón Activado a partir de las pepas de aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, AS) en efluentes líquidos".

Humedad 10% a temperatura ambiente, considerando la propiedad de absorción del carbón con respecto al número de yodo, activado con vapor de agua sobresaturado, carbonización y determinación de cenizas (400-600°C), 1 hora.

1215.00 mg l/g de carbón.

4.10 Reactor Batch

El agua reacciona con los adsorbentes de arsénico As(V), impregnación de hierro formando afinidad con el arsénico.

Formación carboxílicos y fenólicos debido a los carbonos oxidados e impregnados.

CAP-CO₂ – OXI – Fe; rangos de adsorción de:



4.5 mg/g en rango de pH = 4 y 7

3.55 mg/g en rango de pH = 9

Columna empaquetada, de 5 cm diámetro interno, de 20 cm de largo, con volumen de 500 ml. Empacada con lana de vidrio y 200 gr de biadsorbente, cáscara de semilla de zapallo (cucúrbita sp.) y hueso de aceitunas, para la remoción de agua, en un tiempo de 72, 48 y 24 hrs.

4.11 Métodos Instrumentales

El Átomo y la Espectroscopia Atómica

La ciencia de espectroscopia de absorción atómica ha producido tres técnicas de uso analítico: la emisión, la absorción y la fluorescencia. Con el objeto de entender la interrelación entre estas técnicas, se hace necesario tener un conocimiento del átomo y de los procesos atómicos involucrados en cada una de estas técnicas.

El átomo está, de hecho, constituido por un núcleo rodeado por electrones. Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionado con el núcleo atómico y que juntamente con él, da una estructura orbital, que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada.

La configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como "estado fundamental" y es la configuración orbital normal para el átomo.



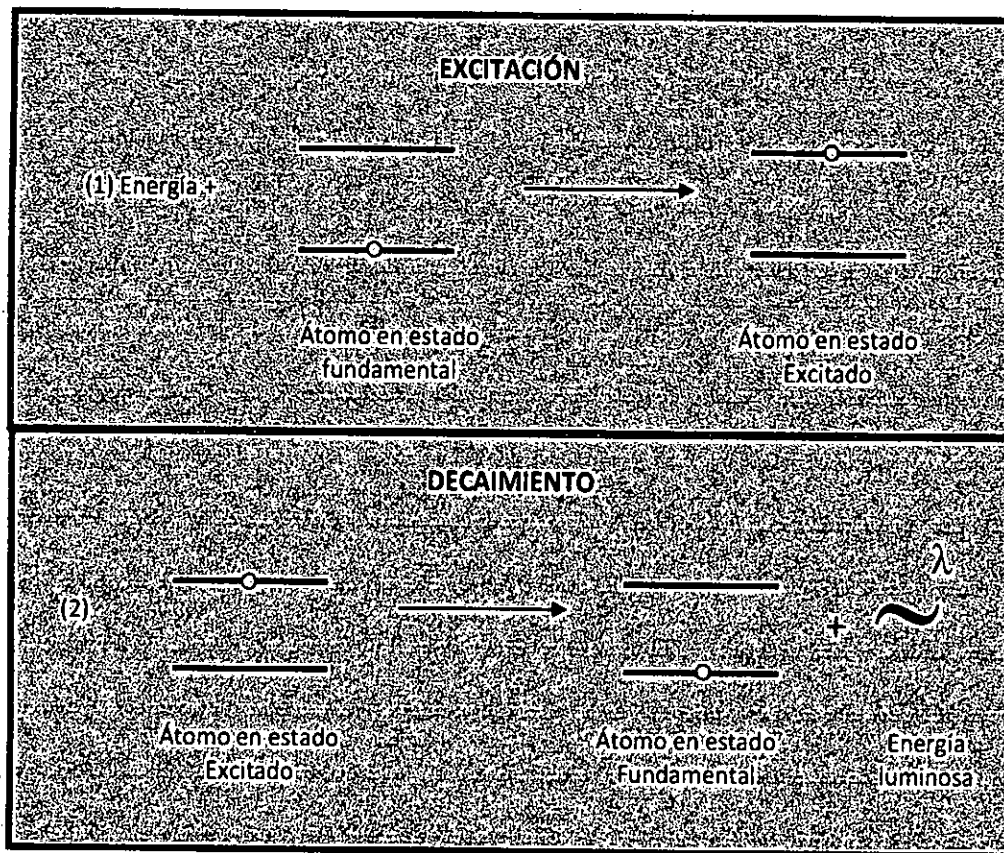


Figura 1. Excitación y Decaimiento

Fuente: Beaty, Richard. 1993

Si a un átomo se aplica energía de una magnitud apropiada, ésta será absorbida por él e inducirá que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o estado excitado. Como este estado es inestable, el átomo inmediatamente y espontáneamente retornará a su configuración fundamental. El electrón por lo tanto retornará a su orbital inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación. El proceso es ilustrado en la Figura 1. note que el paso 1 del proceso, excitación, es producido al suministrar la energía. El proceso inverso de decaimiento del paso 2, emisión de luz, ocurre espontáneamente.



La longitud de onda de la energía radiante emitida está directamente relacionada a la transición electrónica que se ha producido, puesto que un elemento dado tiene una estructura electrónica única que lo caracteriza; la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento. Como la configuración orbital de un átomo grande puede ser compleja, existen muchas transiciones electrónicas posibles y cada una de ellas resultará en la emisión de luz de una determinada longitud de onda, como se ilustra gráficamente en la Figura 2.

El proceso de excitación y decaimiento al estado fundamental es común a los tres campos de la espectroscopia atómica. Por esta razón, ya sea la energía absorbida en el proceso de excitación o la emitida en el proceso de decaimiento, puede ser medida y usada para propósito analítico.

En la emisión atómica, la muestra es sometida a una alta energía y temperatura, con el objeto de producir átomos al estado excitado, capaces de emitir luz. La fuente de energía puede ser un arco eléctrico, una llama, o más recientemente un plasma. El espectro de emisión de un elemento expuesto a una de estas fuentes de energía, consiste de una colección de bandas correspondientes a las longitudes de onda permitidas, comúnmente llamadas líneas de emisión a causa de la naturaleza discreta de las longitudes de onda emitidas. Este espectro de emisión puede usarse como una característica única para la identificación cualitativa del elemento. La emisión atómica utilizando un arco eléctrico, ha sido ampliamente empleada en análisis cualitativos.



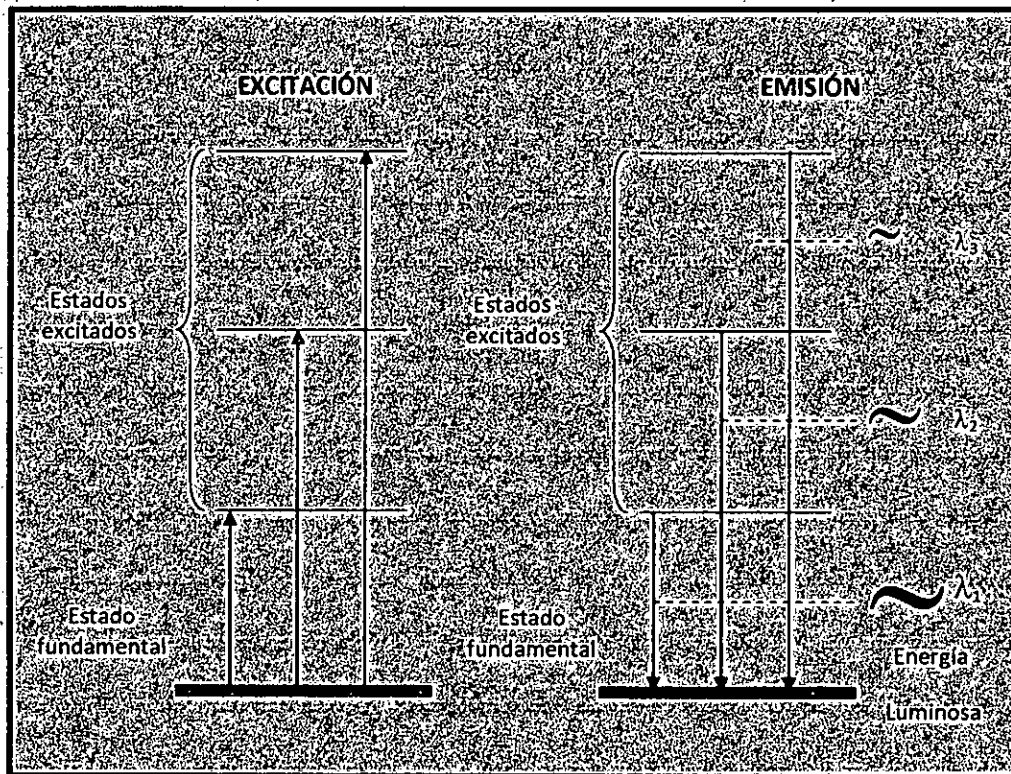


Figura 2. Excitación y Emisión

Fuente: Beaty, Richard. 1993

Las técnicas de emisión también pueden usarse para determinar "cuanto" de un elemento presente en una muestra. Para un análisis "cuantitativo" se mide la intensidad de la luz emitida a la longitud de onda del elemento por determinarse. La intensidad de la emisión a esta longitud de onda será cada vez más alta conforme se incrementa el número de átomos del analito. La técnica de fotometría de llama es una aplicación de la emisión atómica en el análisis cuantitativo.

Cuando la luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasa al estado excitado, este proceso es conocido como absorción atómica. Este proceso está ilustrado en la Figura 3. Note la similitud entre esta ilustración y el paso 1 de la Figura 1, la luz que

es la fuente de la oxidación del átomo en la Figura N° 3, es simplemente una forma específica de energía.

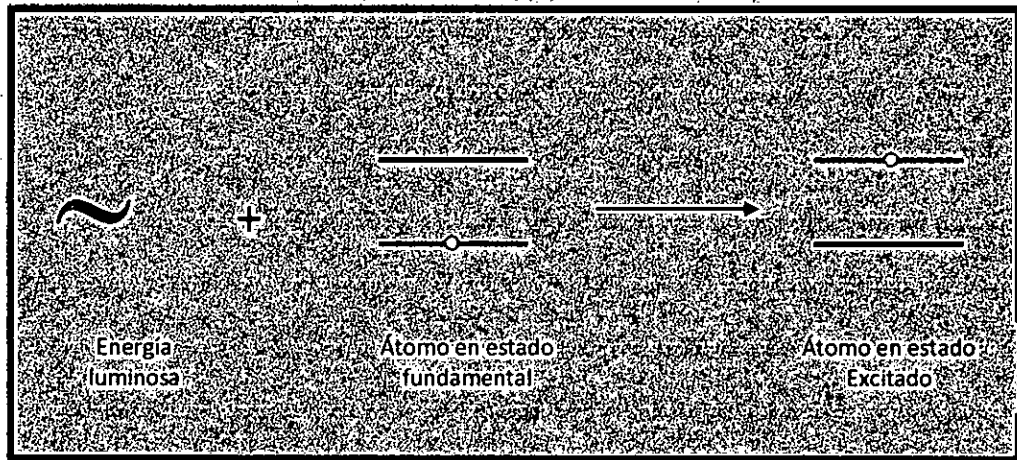


Figura 3. Proceso de la Absorción Atómica

Fuente: Beaty, Richard. 1993

La propiedad de un átomo de absorber luz de longitud de onda específica, es utilizada en la espectrofotometría de absorción atómica.

La característica de interés en las medidas por absorción atómica, es el monto de luz, a la longitud de onda resonante, que es absorbida, cuando la luz pasa a través de una nube atómica. Conforme el número de átomos se incrementa en el paso de la luz, la cantidad que de ésta será absorbida se incrementará en una forma predecible. Se puede efectuar una determinación cuantitativa del analito presente, midiendo la cantidad de luz absorbida. El uso de fuentes especiales de luz y la selección cuidadosa de la longitud de onda, permite la determinación cuantitativa específica de elementos individuales en la presencia de otros.

La nube de átomos requerida para las mediciones en absorción atómica, es producida por la adición de suficiente energía térmica a la muestra para disociar los compuestos químicos en átomos libres.

φ

La aspiración de una solución de la muestra, dentro de una llama alineada con el rayo de luz, sirve para este propósito. Bajo condiciones apropiadas de llamas muchos de los átomos permanecerán en la forma de su estado fundamental y ser capaces de absorber luz de longitud de onda apropiada proveniente de una fuente de luz. La facilidad y la velocidad a la cual se pueden hacer determinaciones exactas y precisas utilizando esta técnica, han hecho que la absorción atómica sea uno de los métodos más populares para la determinación de metales.

Un tercer campo en la espectroscopia atómica es la fluorescencia atómica. Esta técnica incorpora aspectos de absorción atómica y emisión atómica. Igual que en absorción atómica, los átomos en estado fundamental oxigenados por la llama, son excitados al hacerse añadir un rayo de luz sobre el vapor atómico. En vez de cuantificar la cantidad de luz absorbida en el proceso, se mide la emisión resultante del decaimiento de los átomos excitados por la fuente de luz. La intensidad de esta "fluorescencia" se incrementa conforme se incrementa la concentración de los átomos, los que sirven de base para una determinación cuantitativa.

La fuente de energía para la fluorescencia atómica, está fuera del plano del resto del sistema óptico, de manera tal que el detector lumínico, cuantifica sólo la fluorescencia que sucede en la llama y no la luz de la lámpara en sí. Normalmente son más brillantes las lámparas para la fluorescencia atómica que las utilizadas en absorción atómica, con el objeto de incrementar el grado de excitación del átomo y suministrar una más alta sensibilidad con fluorescencia.



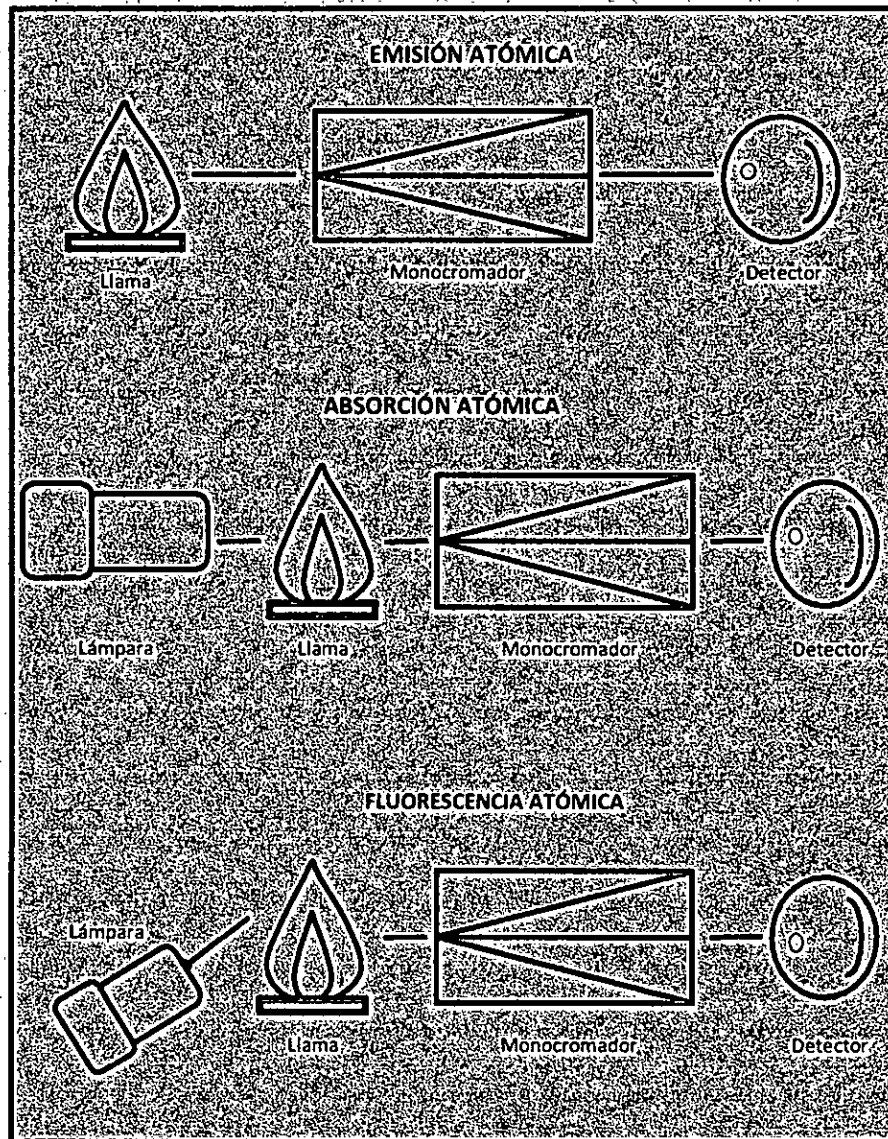


Figura 4. Emisión Atómica

Fuente: Beaty, Richard. 1993

La Figura 4, ilustra cómo se implementan las tres técnicas anteriormente descritas. En tanto que la absorción atómica es la más aplicada de las tres técnicas y normalmente ofrece algunas ventajas sobre las otras dos, se pueden obtener beneficios particulares ya sea con la emisión o la fluorescencia, en situaciones analíticas especiales.

Análisis Cuantitativo por Absorción Atómica

El proceso de la absorción atómica está ilustrado en la Figura 5; luz, a la longitud de onda de resonancia, de intensidad inicial I_0 , es enfocada sobre la llama, que contiene átomos al estado fundamental. La intensidad inicial de la luz es disminuida en una cantidad determinada por la concentración de los átomos en la llama. Luego la luz es dirigida sobre el detector donde se mide la intensidad disminuida. La cantidad de la luz absorbida se determina por comparar I a I_0 . Distintos términos afines son empleados para definir la cantidad de luz absorbida que ha tenido lugar.

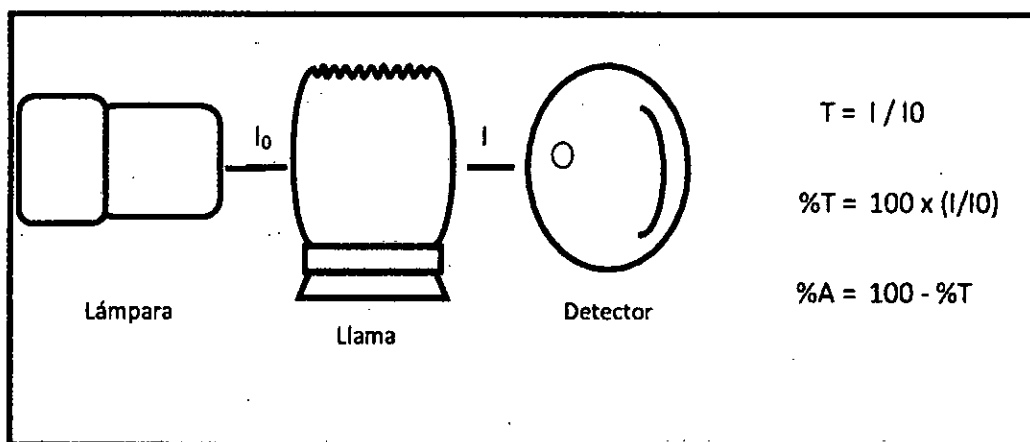


Figura 5. Proceso de Absorción Atómica

Fuente: Beaty, Richard. 1993

La transmitancia es definida como la razón de la intensidad final a la intensidad inicial.

$$T = \frac{I}{I_0}$$

La transmitancia es una indicación de la fracción de luz inicial que pasa a través de la llama para incidir en el detector.



$$\%T = 100 \times \frac{I}{T_0}$$

El porcentaje de transmisión es simplemente la transmitancia expresada en términos de porcentaje.

$$\%A = 100 - \%T$$

El porcentaje de absorción es el complemento del porcentaje de transmisión y define el porcentaje de luz inicial que es absorbida en la llama.

$$A = \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Estos términos son fácilmente visualizados sobre una base física.

El cuarto término absorbancia, es puramente una expresión matemática.

$$A = \log \left(\frac{I}{T} \right) = -\log T$$

Absorbancia es el término más conveniente para caracterizar la absorción de luz en la espectrofotometría de absorción, pues esta cantidad guarda una relación lineal con la concentración. La ley de Beer define esta relación:

$$A = abc$$

En donde "A" es la absorbancia; "a" es el coeficiente de absorptividad constante que es característica de las especies que absorben; "b" es la longitud del paso de luz ocupado por la celda de absorción; y "c" es la concentración de las especies absorbentes en la celda de absorción. Esta ecuación simplemente establece que la



absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes para unas condiciones instrumentales dadas.

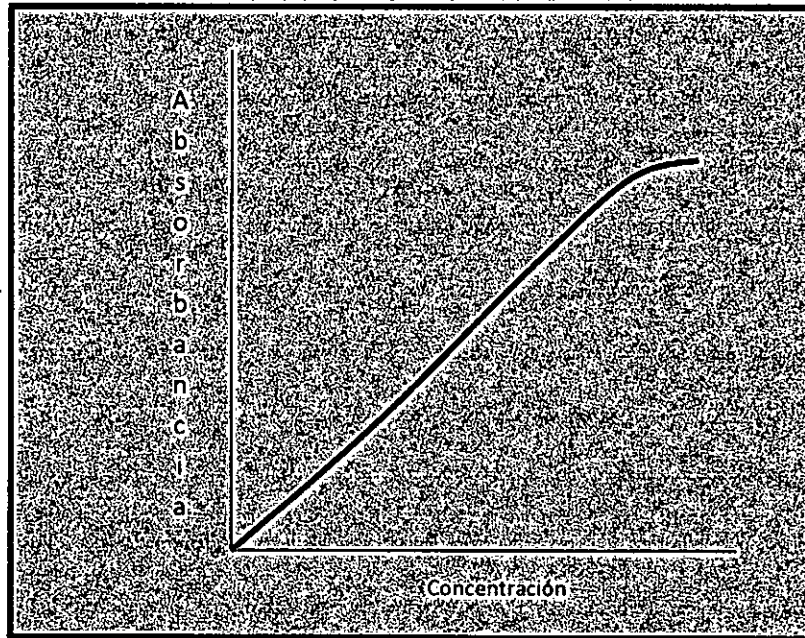


Figura 6. Absorbancia y Concentración

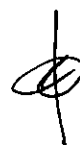
Fuente: Beaty, Richard. 1993

Esta conducta, de proporcionalidad directa entre absorbancia y concentración, es observada en absorción atómica. Cuando la absorbancia de soluciones patrón conteniendo concentraciones conocidas del analito se miden y grafican los resultados de las absorbancias con respecto a la concentración, se establece una relación de calibración similar a la de la Figura 5. en la región en la cual se observa la relación de la ley de Beer, la calibración produce una línea recta. Conforme se incrementa la concentración y la absorbancia, comportamientos no ideales de los procesos de absorción producen una desviación en el desarrollo de la línea recta, como se muestra.

Después que se ha establecido tal curva de calibración, se puede medir la absorbancia de soluciones de concentración desconocida y



su concentración directamente de la curva de calibración. En la instrumentación moderna, la calibración se puede hacer en el instrumento para proveer una lectura directa de la concentración desconocida. Desde el advenimiento de las microcomputadoras es simple la calibración exacta, aún en la región no lineal.



V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Los resultados hallados de la caracterización de las muestras compuestas de aguas en el laboratorio, se observó que presentan valores máximos permisibles y hace que la hipótesis general se cumpla mediante la utilización de los métodos instrumentales y fisicoquímicos de aguas DAM.

5.2 Resultados inferenciales

Se ha utilizado el método estadístico, probabilístico, la media de viación estándar, comprobándose que la hipótesis específica se cumpla aún, a un intervalo de confianza de un 95%.



Tabla 6**Resultados de Hierro (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5**

Zona de Muestra	Biomasa de Cucúrbita sp.			Biomasa de Orujo		
	1	2	3	1	2	3
1	145.6	145.7	145.8	145.6	145.7	145.8
2	137.8	145.6	145.6	145.5	145.5	145.7
3	139.7	145.3	145.3	145.6	145.5	145.6
4	145.0	145.4	145.4	145.6	145.5	145.6
5	140.0	145.0	145.5	145.5	145.5	145.6
6	142.0	145.5	145.6	145.6	145.6	145.5
7	145.6	145.4	145.6	145.5	145.5	145.6
8	145.7	145.6	145.5	145.5	145.6	145.6
9	145.5	145.6	145.5	145.5	145.6	145.6
10	145.6	145.5	145.6	145.5	145.5	145.5

Fuente: Elaboración propia



Tabla 7**Resultados de Manganeso (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5**

Zona de Muestra	Biomasa de Cucúrbita sp.			Biomasa de Orujo		
	1	2	3	1	2	3
1	308.7	307.7	306.1	308.7	306.5	305.5
2	307.8	307.7	306.1	308.7	306.5	305.5
3	308.7	307.7	306.1	308.7	306.5	305.5
4	309.6	307.7	306.1	308.7	306.5	305.5
5	306.2	307.7	306.1	306.2	306.7	304.6
6	308.7	307.7	306.1	306.2	306.6	304.6
7	308.7	308.7	306.1	306.2	306.6	304.6
8	308.7	307.7	306.1	306.2	306.6	304.6
9	308.7	307.7	306.1	306.5	306.6	304.6
10	308.7	307.7	306.1	306.4	306.6	304.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8**Resultados de Cadmio (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5**

Zona de Muestra	Biomasa de Cucúrbita sp.			Biomasa de Orujo		
	1	2	3	1	2	3
1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia



Tabla 9**Resultados de Plomo (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5**

Zona de Muestra	Biomasa de Cucúrbita sp.			Biomasa de Orujo		
	1	2	3	1	2	3
1	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
2	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
3	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
4	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
5	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
6	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
7	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
8	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
9	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
10	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 10

Resultados del Arsénico (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, pH = 3-5

Zona de Muestra	Biomasa de Cucúrbita sp.			Biomasa de Orujo		
	1	2	3	1	2	3
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 11

Resultados de Antimonio (mg/l) por Espectrofotometría de Absorción Atómica, ph = 3-5

Zona de Muestra	Biomasa de Cucúrbita sp.			Biomasa de Orujo		
	1	2	3	1	2	3
1	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
2	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
3	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
4	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
5	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
6	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
7	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
8	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
9	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
10	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006

Fuente: Elaboración propia



Tabla 12**Resultados de los parámetros físico – químicos y microbiológicos de la muestra de agua, resultado de la remoción**

Parámetro	Und.	Semana 1		Semana 2		Semana 3	
		Cucúrbita sp	Orujo	Cucúrbita sp	Orujo	Cucúrbita sp	Orujo
Cloruros	mg/l	1110	1115	1110	1115	1110	1115
Nitratos	mg/l	29	28	29	28	29	28
Nitritos	mg/l	3.4	3.6	3.4	3.6	3.4	3.6
S. totales	mg/l	5570	5570	5570	5570	5570	5570
G. y Aceites	mg/l	63	63	62	62	61	61
S.sedimentales	mg/l	15	15	13	12	10	10
S.S. total	mg/l	5481	5500	5480	5500	5480	5500
D.Q.O	mg/l	1130	1120	1125	1120	1125	1120
pH		3.5	3.0	3.5	3.0	3.5	3.0
Detergentes	mg/l	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
E.coli fecal	NMP/ 100 ml	500	350	450	300	400	300

Fuente: Elaboración Propia

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

La hipótesis general prevista, fue que se utilizaría el método de Biomasa para la remoción de metales totales y disueltos del drenaje ácido de mina (DAM), con diferentes soportes entre los métodos fisicoquímicos, es así, que los resultados muestran las concentraciones de metales pesados, obtenidos por la determinación espectrofotométrica de absorción atómica, en las tablas del 6.1 al 6.6, además resultó que la variable dependiente fue significativa ($p < 0.05$).

Asimismo, los resultados de la tabla N° 6.6, muestran los rangos L.M.P. de las variables independientes, concluyendo que las aguas usadas por la comunidad no son significativas en el impacto ambiental.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Los resultados obtenidos no se encuentran dentro del rango teórico en lo que se expresa a la biomasa utilizada.

- Se conoce que la utilización en la "Remoción de Pb por biomasas residuales de cáscaras de naranja (citrus sinencis) y zuro de maíz (zea mays)" Tejada Tovar; Herrera A; Nuñez Zarur, J. usando diferentes tamaños de partículas de biomasas, resultando que para el zumo de maíz (0.5 mm) y cáscara de naranja (1 mm), a un pH de 6, con valores de



remoción de 67-92% respectivamente. Modelo de sistema de ajuste de Freundlich.

- “La biadsorción de Iones Cobre con biomasa de algas y orujos deshidratados” Pitapia, M. Santander, O, Pavez, L. Valderrama. Experimentos de biomasa batch y en continuo para remoción de cobre de soluciones acuosas, usando algas verdes y residuos de aceituna como adsorbentes y activados químicamente, 96% de captación presentan las algas activadas con Na_2SO_4 , diluido, obteniéndose mayor eficacia durante los 20 min, 240 min y de 600 min (tiempo de captura de iones Cobre).
- “uso de cáscara de banano (musa paradisiaca) como proceso de biadsorción para la remoción de metales pesados Pb, Cr en aguas contaminadas”. Bismark Castro Pastor Biadsorción de Pb (II) y Cr (VI), con cáscara de banano maduro, harina de cáscara de banano maduro, (HCBM)1. Usando 2 parámetros de tamaño de partícula 845, 400 y 250 μm y la cantidad de polvo de cáscara de banano 10, 15 y 20 g/L. el % de biadsorción de $80\% \pm 1.75$ para Pb(II) y $51.2\% \pm 5.98$ para Cr(VI), tiempo de retención hidráulica 48 horas, con pH ligeramente ácido 6.9 y 5.4.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

En mi calidad de autor me responsabilizo por la información emitida en el informe final.



CONCLUSIONES

1. Los estudios últimos aportan información en la capacidad de adsorción del carbón activado cuando se lleva a cabo una modificación biológica del mismo con biomasa.
2. Los iones metálicos podrán ser adsorbidos usando carbón activados y el biofilm, siendo ser el tratamiento robusto y selectivo, es muy factible y de bajo costo, esto será debido a la utilización de biomasa como desecho de algún proceso.
3. El biadsorbente puede ser regenerado en el proceso, la eficiencia del bioproceso es función del microorganismo utilizado, de la naturaleza del soporte, del tipo de reactor y de las condiciones experimentales empleadas.
4. Es imprescindible realizar pruebas experimentales para la mejor configuración biomasa-soporte.
5. La resolución de este tipo de problemas ambientales se podría enfocar en tres diferentes vías de investigación: la utilización de tecnologías limpias, optimización de los procesos tradicionales, y creación de nuevos procesos de tratamiento.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el control permanente de las aguas de los ríos Grande y Porcón, de aguas ácidas de efluentes mineros.
2. Control de la salud de la Comunidad de la Cuenca Porcón por contaminación por metales pesados, así mismo al ganado y tierras de cultivo.
3. Plantar en las riveras de los ríos, árboles de pino, porque absorben y limpian las aguas de efluentes mineros.
4. Uso de biopolímeros de origen biológico para biorremediación de metales tóxicos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baird, C. y Cann, M. (2011). *Química Ambiental*. (Traductor Domenech, X.). Barcelona - España. Editorial Reverté.
- Barreto, C. (2013). *Obtención de Carbón Activado a partir de las pepas de aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, AS) en efluentes líquidos*. Callao – Perú. Universidad Nacional del Callao.
- Boddu V., Krishnaiah A., Talbot J., Smith E. (2003) Removal of hexavalent chromium from wastewater using a new composite chitosan biosorbent. *Environmental. Science. Technology*. (37) p. 4449-4456.
- Cañizares – Villanueva R. O. (2000) Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. (42), p. 131-143.
- Cartaya, O.; Reynaldo, I.; Marrero, O.; Peniche, C. (2008). Adsorción de iones Cu^{2+} por quitasana y su aplicación al suelo para la protección de las plantas ante la toxicidad del metal. *Repositorio Dspace*. Recuperado de <http://repositorio.geotech.cu/spui/handle/1234/2958>.
- Cerino-Córdova F.J. (2003). *Utilisation de tissue de carbone activé biologiquement modifié par A. Ferrooxidans dans des procédés biologique et bioélectrochimique*. (Tesis de doctorado en Génie) des Procédés del Institut National Polytechnique de Grenoble
- Chung B. (2008) Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Rev. Perú Med. Exp Salud Pública*. Vol 25 (4) p. 413-418.
- Da Costa A.; Pereira, F. (2001). Bioaccumulation of copper, zinc, cadmium and lead by *Bacillus* sp., *B. cereus*, *B. sphaericus*



- and *B. subtilis*. *Brazilian Journal of Microbiology*. N° 32, p. 1-5.
- Dias. M.A.; Pimentel P.; Lacerda I. (2002). *Aspergillus terreus* strain immobilized in a polyurethane matrix. *Letts Appl Microbiol*. N° 34, p. 46-50
- Flores, J.; Ly, N.; Huanambal, N.; Maldonado, H. (2001). Biorremediación de metales tóxicos en efluentes mineros aplicando biosorción. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Vol. 4, (7), p. 46-51.
- Hernandez, J.; Reyna, L.; Ortiz, E.; Rojas, S.; Treviño. (2018). Isoterma de Adsorción de Langmuir. *Academia.edu*. Departamento de Química, Campos Monterrey. Recuperado de www.academia.edu/21616694/Isoterma_de_Adsorción_de_Langmuir.
- http://fisicanet.com.ar/quimica/aguas/ap05_aguas.php
- <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>
- Huaranga, F.; Mendez, E.; Quilcat, V.; Huaranga, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Rev. Scientia Agropecuaria. Scientific journal of Universidad Nacional de Trujillo*. Vol. 3 (3) p. 235 – 247.
- Kiely, G.; Veza, J. (1999). *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. España. Edit. Mc Graw Hill.
- Kumar, J.; Cini, O.; Kumar, R. (2009). Biosorption of heavy metals from aqueous solution by green marine macroalgae from Okha Port, Gulf of Kutch, India. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. Vol. 6 (3) p. 317-323 ref. 17.



- Kumar, R.; Chaudhary, G.; Singh, S.; Goyal, D. (2011) Biosorption of Pb^{2+} and Zn^{2+} by Non-Living Biomass of *Spirulina* sp.. *Indian Journal of Microbiology*. Vol. 50 (4), p. 438-442.
- Lazo, J.; Navarro, A.; Sun-Kou, M.; Llanos, B. (2008). Síntesis y caracterización de arcillas organofílicas y su aplicación como adsorbentes del fenol. *Rev. Soc. Quím. Perú*. Vol. 74 (1), p. 3 – 19.
- Ley N° 29338: Ley de Recursos Hídricos (2009). En Diario Oficial El Peruano. Perú.
- Mendoza, J.; Perea, Y.; Pretelin, C.; Silveti, A.; et al. (2010). Biosorción de Cromo, Arsénico y Plomo de soluciones acuosas por cultivos bacterianos en suspensión. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. Vol. 1 (2) p. 67-73.
- Mihova, St.; Godjevargova T. (2001) Biosorption of Heavy Metals from aqueous solutions. *Ejournalistnet*. Vol. 19 (8). Recuperado de: <http://www.ejournalistnet.com>. Issue
- Pérez, L.; Moreno, A.M.; González, J. (2004). Índices de acumulación de pétalos pesados en granos y hojas de trigo. *Schironia*. (3) p. 5-9. Recuperado de www.schironia.com.
- Quintelas, C.; Tavares, T. (2001) Removal of chromium (VI) and cadmium (II) from aqueous solutions by a bacterial biofilm supported on granular activated carbon. *Biotechnology Letters*. Vol. 23. (16) pp. 13494 – 1353.
- Rivera – Utrilla, J.; Bautista – Toledo, I.; Ferro – Garcia, M.; Moreno – Castilla, C. (2003). Biosorption of Pb (II), Cd (II) and Cr (IV) on activated carbon from aqueous solutions. *Carbon Journal*. (41) pp. 323-330
- Rivera, H.; Chira, J.; Zambrano, K.; Petersen, P. (2007) Dispersión secundaria de los metales pesados en sedimentos de los ríos

- Chillón, Rímac y Lurín Departamento de Lima. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. Vol 10 (20), p 19-25.
- Sandana, J.; Unni, B.; Puvanakrishnan, R. (2006). Bioaccumulation and biosorption of chromium by *Aspergillus niger* MTCC 2594. *The Journal of General and Applied Microbiology*. Vol. 52 (3), p. 179 – 186.
- Seoanez, M. (1998). *Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental*. 2da. Edición. Ediciones Mundi-prensa.
- Siccha M. L. (2010). *Eficacia de la biosorción de Plomo mediante cochayuyo pre-tratado (Chondracanthus chamissoi)*. Callao – Perú. Universidad Nacional del Callao.
- Sinchi GM. (2007). Evaluación del comportamiento ambiental de los contaminantes en residuos sólidos mineros metalúrgicos (RSMM) por el método de extracciones secuenciales y aplicación de modelos de movilidad y transporte. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Vol. 10 (19), p. 78 – 86.
- Sun, YM; Horng, CY.; Chang, FL.; Cheng, LC.; Tian, WX. (2010). Biosorption of Lead, Mercury, and Cadmium Ions by *Aspergillus terreus* Immobilized in a Natural Matrix. *Polish Journal of Microbiology*. Vol. 59 (1), p. 37-44.
- Talledo, J. (2013). *Uso de los residuos de hueso de aceituna para obtener carbón activado*. (Tesis de Pre-Grado de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.
- Uchida, M.; Ito, S.; Kawasaki, U.; Nakamura, T.; Tanada, S. (1999). Competitive Adsorption of Chloroform and Iron Ion onto Activated Carbon Fiber. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 220 (2), p. 406-409.



Wase J., Forester C. (1997) *Biosorbents for Metal Ions*. 3ra Edición.
London. Editorial Tylor & Francis.



ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de consistencia

Anexo N° 2: Ley de Recursos Hídricos

Anexo N° 3: Imágenes tomadas en el Laboratorio de Ensayos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao



Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

“REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL DRENAJE ÁCIDO DE MINERÍA Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD DE LA CUENCA PORCÓN”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODO
General	General	General	Dependiente		
¿Qué métodos serán eficientes para la remoción de metales pesados del drenaje ácido de minería?	Determinar los métodos para la remoción de metales pesados presentes en el drenaje ácido de minería.	El método más eficiente para la remoción de metales pesados del drenaje ácido de mina (DAM) entre los métodos comparados, es el método de Biomasa amortizado con diferentes soportes.	X: Cantidad removida (%) de cada uno de los metales totales y disueltos presentes en el agua del DAM (arsénico, cadmio, cobre, zinc, cromo, plomo) y disueltó (hierro)	ppm de metales totales y disueltos.	Relacionando la variable Y así como la variable Z con la variable X.
Específico	Específico	Específicas	Independientes		
¿Qué características químicas presenta el drenaje ácido de minería?	Caracterizar el agua de drenaje ácido de minería en la Cuenca Porcón	Las características del agua de los ríos Grande y Porcón presentan concentraciones fuera de los límites permisibles de metales.	Y = Impacto Ambiental	Medios tecnológicos de Biomasa amortizada con diferentes soportes.	Medición en laboratorio.
¿Los contaminantes del drenaje ácido de minería son: arsénico, cadmio, cobre, zinc, cromo, plomo, hierro?	Evaluar los contaminantes tóxicos que fluyen en las aguas de la Cuenca Porcón.	La metalurgia de Biomasa amortizada es aplicada en un medio ácido de minería			
¿Cuál es el impacto ambiental en la comunidad de la Cuenca Porcón?	Identificar los índices de calidad de las aguas de la Cuenca Porcón.	El impacto ambiental en la comunidad de la Cuenca Porcón es significativa.	Z = Aguas contaminadas	Límites máximos permisibles (LMPs)	Método de Absorción Atómica

Anexo N° 2: Ley de Recursos Hídricos

LEY DE RECURSOS HÍDRICOS

LEY N° 29338

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley

siguiente: EL

CONGRESO DE LA

REPÚBLICA; Ha dado

la Ley siguiente:

LEY DE RECURSOS HÍDRICOS

TÍTULO PRELIMINAR

Artículo I.- Contenido

La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

Artículo II.- Finalidad

La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.



Artículo III.- Principios

Los principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos son:

1. **Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua** El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos.
El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico.
2. **Principio de prioridad en el acceso al agua** El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.
3. **Principio de participación de la población y cultura del agua.** El Estado crea mecanismos para la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad, oportunidad u otro atributo del recurso.
Fomenta el fortalecimiento institucional y el desarrollo técnico de las organizaciones de usuarios de agua.
Promueve programas de educación, difusión y sensibilización, mediante las autoridades del sistema educativo y la sociedad civil, sobre la importancia del agua para la humanidad y los sistemas ecológicos, generando conciencia y actitudes que propicien su buen uso y valoración.
4. **Principio de seguridad jurídica.** El Estado consagra un régimen de derechos para el uso del agua. Promueve y vela por el respeto de las condiciones que otorgan seguridad jurídica a la inversión relacionada con su uso, sea pública o privada o en coparticipación.



5. **Principio de respeto de los usos del agua por las comunidades campesinas y comunidades nativas.** El Estado respeta los usos y costumbres de las comunidades campesinas y comunidades nativas, así como su derecho de utilizar las aguas que discurren por sus tierras, en tanto no se oponga a la Ley. Promueve el conocimiento y tecnología ancestral del agua.
6. **Principio de sostenibilidad.** El Estado promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos hídricos previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran. El uso y gestión sostenible del agua implica la integración equilibrada de los aspectos socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.
7. **Principio de descentralización de la gestión pública del agua y de autoridad única.** Para una efectiva gestión pública del agua, la conducción del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es de responsabilidad de una autoridad única y desconcentrada.
La gestión pública del agua comprende también la de sus bienes asociados, naturales o artificiales.
8. **Principio precautorio.** La ausencia de certeza absoluta sobre el peligro de daño grave o irreversible que amenace las fuentes de agua no constituye impedimento para adoptar medidas que impidan su degradación o extinción.
9. **Principio de eficiencia.** La gestión integrada de los recursos hídricos se sustenta en el aprovechamiento eficiente y su conservación, incentivando el desarrollo de una cultura de uso eficiente entre los usuarios y operadores.
10. **Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica.** El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada



por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.

11. **Principio de tutela jurídica.** El Estado protege, supervisa y fiscaliza el agua en sus fuentes naturales o artificiales y en el estado en que se encuentre: líquido, sólido o gaseoso, y en cualquier etapa del ciclo hidrológico.

... SUBCAPÍTULO IV CONSEJO DE CUENCA

Artículo 24° Naturaleza de los Consejos de Cuenca

Los Consejos de Cuenca son órganos de naturaleza permanente integrantes de la Autoridad Nacional, creados mediante decreto supremo, a iniciativa de los gobiernos regionales, con el objeto de participar en la planificación, coordinación y concertación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en sus respectivos ámbitos.

Los Consejos de Cuenca son de dos (2) clases:

1. Consejo de Cuenca Regional, cuando el ámbito de la cuenca se localiza íntegramente dentro de un (1) solo gobierno regional.
2. Consejo de Cuenca Interregional, cuando dentro del ámbito de la cuenca, existen dos (2) o más gobiernos regionales.

Los decretos supremos que crean los Consejos de Cuenca Regional o Interregional establecen su estructura orgánica y su conformación, la que considera la participación equilibrada de los representantes de las organizaciones de usuarios y de los gobiernos regionales y gobiernos locales que lo integran.

La designación, funciones y atribuciones de los Consejos de Cuenca Regional o Interregional son determinadas en el Reglamento.



... CAPÍTULO VI
CUENCAS Y ENTIDADES MULTINACIONALES

Artículo 33° Acuerdos multinacionales

La Autoridad Nacional coordina con el Ministerio de Relaciones Exteriores la suscripción de acuerdos multinacionales que tengan por finalidad la gestión integrada del agua en las cuencas transfronterizas.

....
Comuníquese al señor Presidente de la República para su promulgación.
En Lima, a los veintitrés días del mes de marzo de dos mil nueve.

JAVIER VELÁSQUEZ QUESQUÉN

Presidente del Congreso de la República

ALEJANDRO AGUINAGA RECUENCO

Primer Vicepresidente del Congreso de la República

**AL SEÑOR PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA POR
TANTO:**

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de marzo del año dos mil nueve.

ALAN GARCÍA PÉREZ

Presidente Constitucional de la República

YEHUDE SIMON MUNARO

Presidente del Consejo de Ministros



**Anexo N° 3: Imágenes tomadas en el Laboratorio de Ensayos
de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional
del Callao**

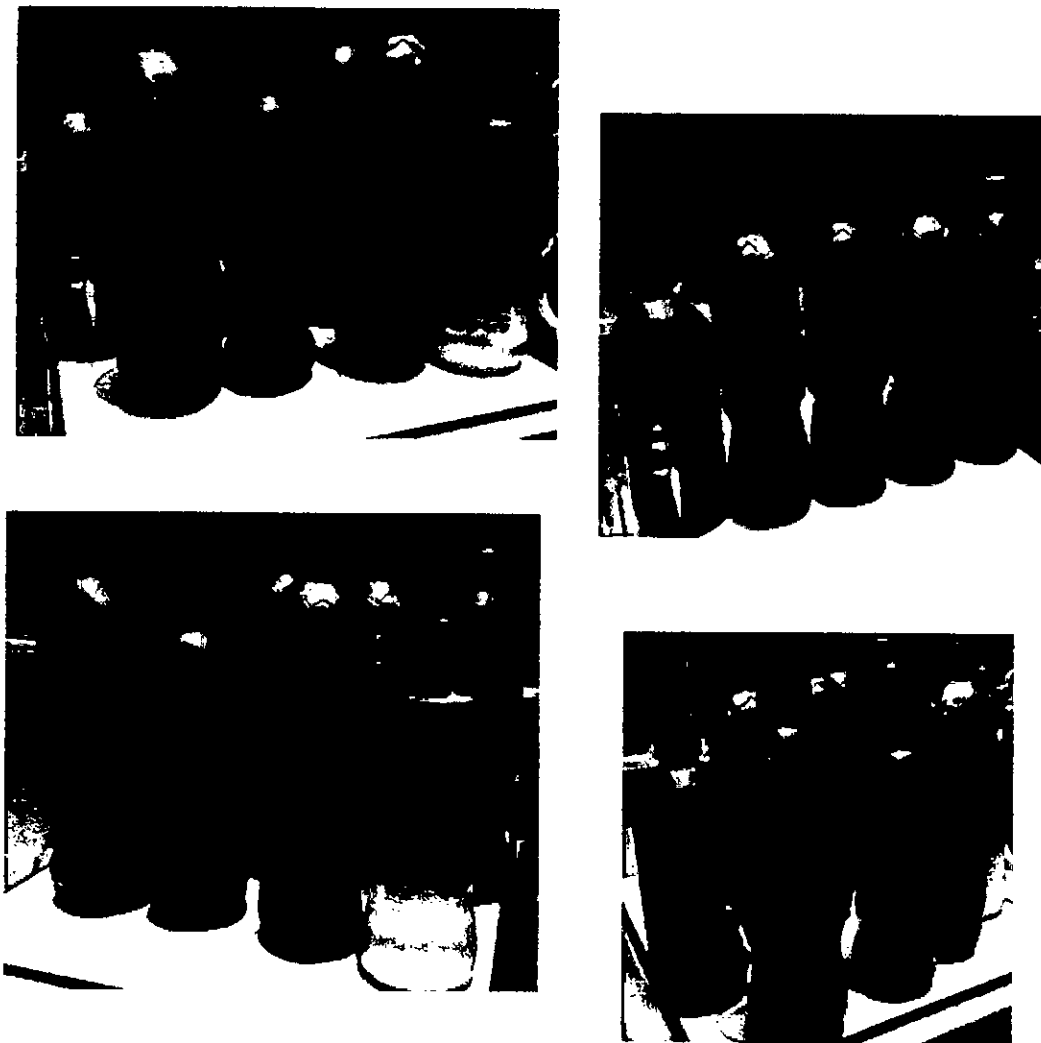


Figura 7. Muestras de agua de la Cuenca Porcón

Fuente: Elaboración Propia

A handwritten signature or mark, possibly a stylized 'S' or a similar symbol, located at the bottom right of the page.



Figura 8. Imágenes de la Cucurbita sp. y los Orujos antes del tratamiento para obtener Carbón Activado

Fuente: Elaboración propia



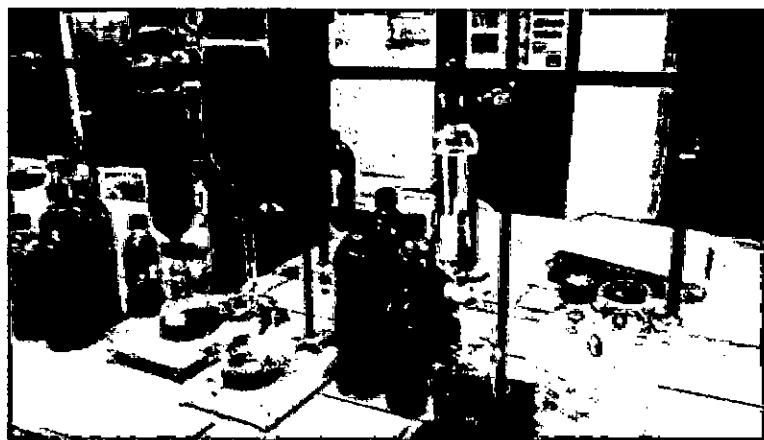
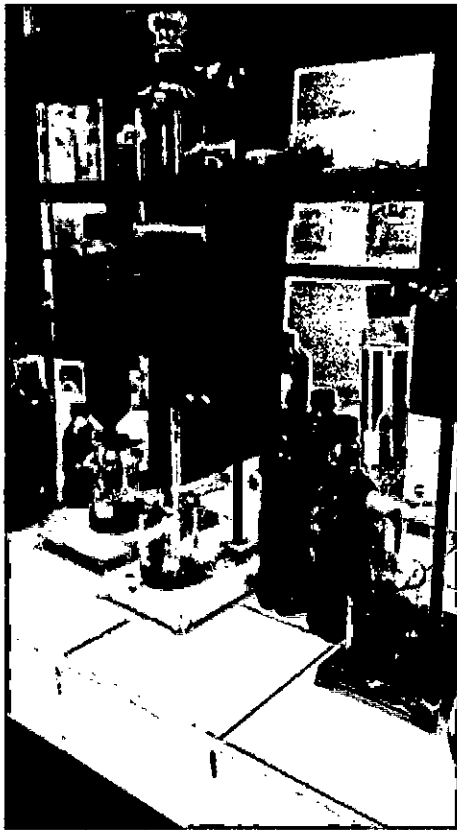


Figura 9. Imágenes del tratamiento de aguas mediante el Sistema Batch y Biomasa

Fuente: Elaboración Propia



Figura 10. Imágenes de la determinación de las muestras con Métodos fisicoquímicos y microbiológicos

Fuente: Elaboración Propia



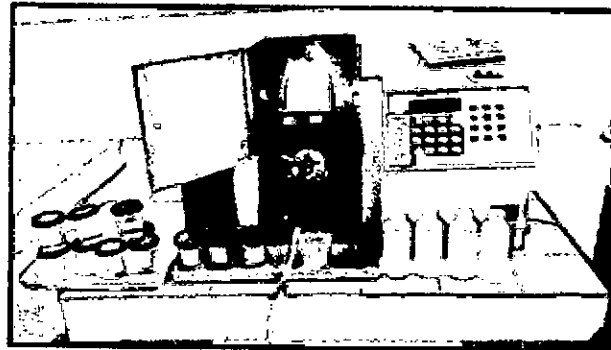
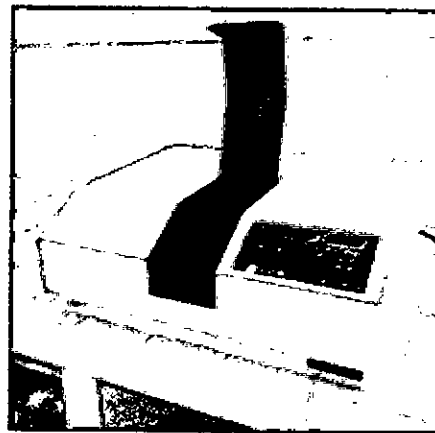
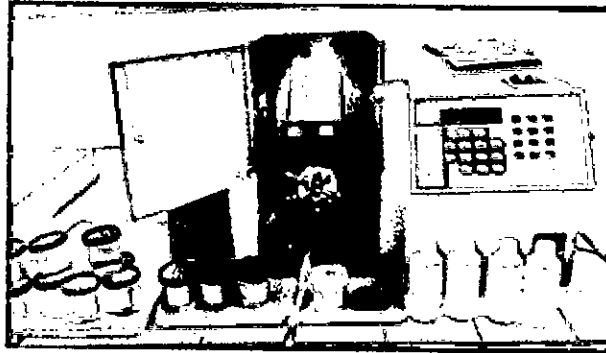


Figura 11. Imágenes de la determinación de Metales Pesados por Espectrofotometría Molecular y Absorción Atómica

Fuente: Elaboración Propia

