



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DEL MUCÍLAGO DE “*Opuntia ficus-indica*”
EN LA REDUCCIÓN DE METALES EN DRENAJE ÁCIDO
DE MINA DE LA QUEBRADA HONDA - COLQUIRRUMI
S.A.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Jhan Pierre Chávez Vásquez.

Bach. Jhonatan Manuel Cholán Minchán.

Asesor:

M. Cs Gladys Sandi Licapa Redolfo

Cajamarca - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Gladys Sandi Licapa Redolfo, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA DE MINAS**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Chávez Vásquez, Jhan Pierre
- Cholán Minchán, Jhonatan Manuel.

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Evaluación del Mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” para aspirar al título profesional de: Ingeniero de Minas por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al o a los interesados para su presentación.

M. Cs. Gladys Sandi Licapa Redolfo
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Chávez Vásquez, Jhan Pierre y Cholán Minchán, Jhonatan Manuel para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “EVALUACIÓN DEL MUCÍLAGO DE “*Opuntia ficus-indica*” EN LA REDUCCIÓN DE METALES EN DRENAJE ÁCIDO DE MINA DE LA COMPAÑÍA MINERA COLQUIRRUMI S.A.”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
Jurado
Presidente

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán
Jurado

Ing. Oscar Arturo Vásquez
Mendoza
Jurado

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, que han estado conmigo cada paso que doy, dándome la fortaleza para continuar, quienes a lo largo de la vida han depositado su confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar un solo momento de mi capacidad; agradezco a nuestros formadores, personas que a lo largo de la vida universitaria se esforzaron para ayudarnos a llegar a este punto en donde nos encontramos, el proceso no ha sido sencillo, pero les damos gracias por transmitirnos sus conocimientos con los que hemos logrado culminar el desarrollo de esta tesis con éxito.

Jhan Pierre Chávez Vasquez

Esta investigación la dedico a dios y a mi familia por el apoyo incondicional y constante durante mi formación personal, académica, y profesional, puesto que ellos son protagonistas del por qué estoy hoy aquí dispuestos a tener una mejor elección de mi vida.

Jhonatan Manuel Cholán Minchán

AGRADECIMIENTO

Gracias a nuestra universidad, por habernos permitido formarnos en ella; a nuestros padres, docentes, amigos y a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes que con su apoyo fueron los responsables de nuestra culminación y paso por la universidad

Tabla de contenidos

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS	34
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	48
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	15
Tabla 2	27
Tabla 3	32
Tabla 4	34
Tabla 5	35
Tabla 6	35
Tabla 7	37
Tabla 8	37
Tabla 9	38
Tabla 10.....	38
Tabla 11.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Defensoría del pueblo, distribución de PAM en Cajamarca.	11
Figura 2. Fotografía de la tubería del efluente, elaboración propia.	24
Figura 3. Punto de Control de la Quebrada Honda, elaboración propia.	25
Figura 4. Fotografía de toma de muestras, elaboración propia.	26
Figura 5. Foto de la recolección de las pencas de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”, elaboración propia.	27
Figura 6. Proceso de la obtención de mucílago de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”, elaboración propia.	30
Figura 7. Proceso de retiro de la epidermis para obtener el mucílago de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”, elaboración propia.	31
Figura 8. Gráfico de resumen de resultados de la determinación de metales (Pre Tratamiento), elaboración propia.	35
Figura 9. Muestras de la quebrada Honda tratadas con mucílago de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”, elaboración propia.	36
Figura 10. Gráfico Resumen de resultados de la determinación de metales (Post Tratamiento), elaboración propia.	38
Figura 11. Fotografía de los sedimentos en la muestra T1 y T2, elaboración propia.	39
Figura 12. Elaboración Propia, fotografía de los sedimentos en la muestra T3.	39
Figura 13. Gráfico resumen de resultados de tratamiento con mucílago de " <i>Opuntia ficus-Indica</i> " al 80% de concentración, elaboración propia.	40

RESUMEN

La presente investigación ha sido desarrollada con la finalidad de proponer criterios para una solución innovadora al problema de los pasivos ambientales mineros, en ella se expone los resultados del uso del mucílago de “Opuntia ficus-indica” como alternativa de fitoremediación, el cual es extraído de la planta conocida como Tuna o Nopal, que crece en diversas partes del Perú. La utilización de mucílago de “Opuntia ficus-indica” como agente reductor de metales es una alternativa interesante ya que es totalmente natural. El extracto de mucílago “Opuntia ficus-indica” es poco conocido en el Perú, mayormente la planta se utiliza para la producción de tunas y cochinita las cuales son exportadas al extranjero; no hay muchas investigaciones acerca del uso que se le puede dar para el tratamiento de aguas contaminadas por pasivos mineros; razón por la cual resulta ser una nueva propuesta para mitigar los pasivos ambientales que afectan la calidad de vida de la población del distrito de Hualgayoc. Se han realizado tres pruebas de laboratorio al 40%, 60% y 80% de mucílago de “Opuntia ficus-indica” para evaluar el grado de reducción de concentración de Cu, Cd, Fe, Pb y Zn en el efluente de drenaje ácido de mina perteneciente a las concesiones de la Compañía Minera Colquirrumi S.A. ubicado en el distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, con el propósito de determinar y analizar los resultados de la posterior aplicación del tratamiento con mucílago de “Opuntia ficus-indica” y conocer la eficiencia como reductor de metales en el tratamiento de DAM. Como resultados de esta investigación se obtuvieron los siguientes datos; para la concentración de Cobre sin tratamiento es 0.44ppm después del tratamiento con resultados de 0.188ppm, Cadmio sin tratamiento es 0.075ppm después del tratamiento con resultados de 0.021ppm, Hierro sin tratamiento es 21.71 ppm después del tratamiento con resultados de 17.49 ppm, Plomo sin

tratamiento es 1.34 ppm después del tratamiento con resultados de 0.34 ppm, Zinc sin tratamiento es 14.71 ppm y después del tratamiento con resultados de 3.392 ppm concluyendo que el porcentaje de 80% es el más óptimo para la reducción de concentración de metales con el mucílago de “Opuntia ficus-indica”. Así como también da una nueva alternativa de remediación natural al DAM encontrado en la zona de Hualgayoc; ya que la concentración de los metales como Cu y Zn llegan a los estándares de calidad de agua para el consumo animal y la concentración de metales como Cd, Fe y Pb están más cerca a los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua de riego vegetal (categoría 3).

Palabras clave: Fitorremediación, DAM, Mucílago, Nopal, Contaminación, Hualgayoc.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Hoy en día la minería tiene distintos conflictos en el ámbito social en varios países, puesto que en su momento esta actividad produjo pasivos ambientales los cuales son producto de la antigua minería, la minería informal y minería ilegal; así como también de mineras formales declaradas en banca rota, las cuales dejan instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, Según estudios realizados por distintas identidades como; OEFA, OSINERGMIN, Activos Mineros S.A.C. y el ministerio del medio ambiente; en la actualidad en el Perú se tiene diversos pasivos ambientales producto de esta actividad (OSINERGMIN, 2015).

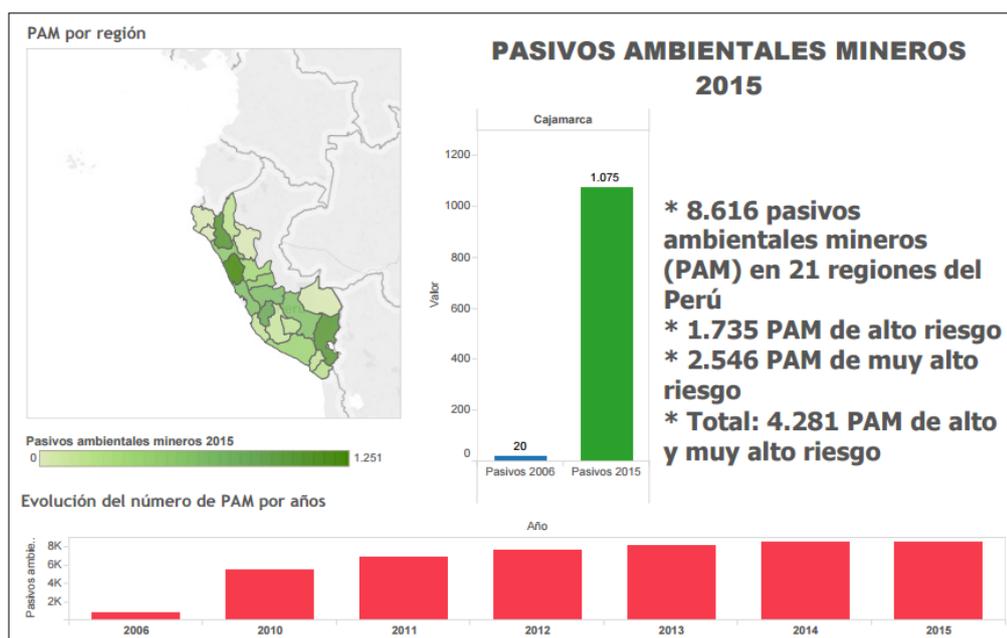


Figura 1. Distribución de PAM en Cajamarca.

Fuente Defensoría del pueblo.

En el Perú se ha identificado cerca de más de ocho mil pasivos ambientales producto de actividades mineras o de hidrocarburos, por lo que la política del Ministerio de Energía y Minas es encontrar a los responsables para que asuman su remediación; y de no dar con ellos, encargarse directamente de la solución de este problema. Dentro

de los lugares afectados tenemos a los departamentos de Ancash y Cajamarca, donde existe un aproximado de mil pasivos ambientales cada uno, los cuales registran un alto número de áreas afectadas por la vieja minería. (MEM, 2015)

Uno de los lugares dentro de Cajamarca con mayor presencia de pasivos ambientales es la provincia de Hualgayoc, donde se han encontrado 1075 pasivos ambientales, producto de las labores mineras antiguas que no han tenido un plan de cierre por lo que a través del tiempo esto ha originado DAM lo que ha contaminado el agua haciendo que estas no sean aptas para el consumo humano ni de los animales y tampoco para el riego. Por lo que el Estado asumirá la responsabilidad de remediar 119 pasivos ambientales en la cuenca del Llaucano, de la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, con fondos del Fideicomiso de 10 millones de nuevos soles que es administrado por el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM). Una de las acciones inmediatas emprendidas por el Ministerio, Guillermo Shinno destacó que próximamente se firmará un Convenio con Activos Mineros para la remediación de cuatro unidades mineras que contienen 141 pasivos mineros, de los cuales 73 han sido localizados en Ancash, 48 en Puno y 20 en Junín. (MEM, 2015)

El lugar de estudio está ubicado en el kilómetro 78 Cajamarca – Hualgayoc la cual está dentro de las concesiones de la empresa minera Colquirrumi S.A.; donde se ha encontrado dos chimeneas por donde ingresa el agua de lluvia y de escorrentía y lava el mineral sulfuro originando DAR; así como también encontramos cuatro bocaminas las cuales son efluentes de DAR donde el proceso es la captación de efluentes en una sola tubería para luego ser vertidas a quebrada Honda. Por lo que consideramos la necesidad de profundizar en el campo del tratamiento de eliminación y/o reducción de metales pesados disueltos en el agua por su alto riesgo de peligrosidad para el medio

ambiente y la salud pública. Por lo que para el proceso de reducción de metales en el agua se utilizara el Mucílago de “*opuntia ficus-indica*” como una nueva alternativa de remediación ambiental sin comprometer al medio ambiente; por lo que la realidad problemática se basa en evidencias empíricas, documentales y orienta el estudio prospectivamente (Activos Mineros S.A.C, 2014).

El estudio realizado por Aquino (2013) en su informe de investigación de tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa de la universidad Católica Santa María de Arequipa, describe el análisis fisicoquímico de aguas del río Chili, en cuya etapa inicial se mostró la contaminación que tiene con valores de coliformes fecales entre valores de 17’ 000,000 y 22’ 000,000 NMP/100ml; así mismo se identificó presencia de metales como Al con una concentración de 0.952 mg/l, Fe con 0.909 mg/l y Pb con 0.026.

Al evaluar la capacidad del extracto de nopal como coagulante-floculante se llegó a reducir la turbidez del agua hasta un valor de pH de 7.11mg/l, Fe 0.059mg/l y Pb con 0.026mg/l de fe empleando un concentrado al 80 % de extracto lo cual resulta favorable ya que permitirá que el resto de contaminantes se purifiquen mediante un filtro.

Se llegó a la conclusión de que es posible reducir los valores de coliformes totales y la turbidez, así mismo el tratamiento resulta ser económico ya que se emplean materiales relativamente baratos.

De la misma forma, Vílchez (2013). En su tesis de maestría, realizó un estudio de evaluación del uso de “*Opuntia ficus-indica*” en la clarificación de aguas para el consumo humano, de la universidad del Zulia en Venezuela donde busca una

alternativa natural en comparación al uso de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para el tratamiento de agua, el cual en diversos estudios se ha comprobado que este compuesto deja aluminio residual el cual relacionan con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer; de allí es que parte este estudio que trata de minimizar su uso. En dicha investigación se evaluó el uso de *Opuntia ficus-indica* (desechada) en la clarificación de aguas para el consumo humano. Los ensayos se realizaron en laboratorio utilizando aguas crudas provenientes del embalse Burro Negro. Las aguas se caracterizaron fisicoquímicamente (turbidez, pH, color y alcalinidad) fueron diluidas y ajustadas a turbiedades de 100, 120, 140, 160, 180 y 200 UNT y los resultados obtenidos mostraron porcentajes de remoción antes de filtrar de 84,77%; 87,97%; 88,31%; 87,63%; 89,50%; 91,90% y después de filtrar de 94,86%; 95,61%; 96,16%; 95,31%; 96,47% y 97,29%, respectivamente. Los parámetros pH y alcalinidad no presentaron variaciones considerables después de aplicado el coagulante, obteniendo valores entre 6,70 y 7,38 para el pH; y de 21,33-35,33 mgCaCO₃/L para la alcalinidad, una vez finalizado el proceso de filtrado. Por lo que Vílchez concluye que el desecado de *Opuntia ficus-indica* es una alternativa factible como coagulante natural primario para la remoción de turbidez en el tratamiento de aguas para el consumo humano.

Así mismo en el estudio realizado por Gonzales (2008), nos presenta un coagulante natural aplicándolo a muestras de agua con color y con metales pesados (estas preparadas sintéticamente), además de agua residual doméstica; donde la extracción del coagulante se realizó de tres especies de *Opuntia* (nopal), brindándonos como resultados de las pruebas fisicoquímicas de estos coagulantes indicaron la presencia de material orgánico y un alto contenido de materia inorgánica (sales), las cuales tienen una buena función el proceso de coagulación-floculación. Así como también en los

resultados que se obtuvieron en la aplicación como coagulante y coadyuvante se reflejaron en la formación de flocs, dando a éstos formación casi inmediata y con buenas características (en tamaño principalmente), aun cuando en la sedimentación se presentaron algunas variaciones, las cuales se logran confirmar, con las pruebas fisicoquímicas realizadas al sobrenadante, estas para las muestras con color y de agua residual doméstica. En la remoción de metales pesados se obtuvieron los siguientes resultados a pH de 6.5 (en forma de iones), para el plomo se logró una remoción de 83 % para el fierro de 80 % y para el zinc de 15 %. Con las pruebas a pH de 8.5 (en forma de hidróxidos) se obtuvieron remociones para el plomo de 78% para el fierro de 86 % y para zinc de 50%.

Tabla 1

Operacionalización de variables.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TECNICA INSTRUMENTAL
Concentración de metales	Es el contenido de partículas de metal suspendidos en el agua.	En este proceso se determinara la reducción de concentración de metales suspendidos en el agua de drenaje ácido de mina	ECA(Categoría 3)	ppm	Absorción atómica
			pH	Rango	Potenciometría
			Turbidez	NTU	Técnica Óptica
			Temperatura	Grados Celsius (C).	Electroquímica
			Conductividad	s/m.	Electroquímica

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TECNICA INSTRUMENTAL
Mucilago de "Opuntia ficus-indica"	El mucilago es una sustancia pegajosa producida en las células que se encuentran tanto en el clorénquima, como en el parénquima y que ayuda a los cactus a retener agua, (Arboleda, 2000).	En este proceso operacional se determinara el proceso de uso del mucilago de nopal para la reducción de concentrado de metales en el agua.	Propiedades intrínsecas de mucilago de "Opuntia ficus-indica"	Porcentaje de concentrado de mucilago de "Opuntia ficus-indica"	Desarrollada por los tesisistas.

Fuente: Elaboración Propia.

DAM (Drenaje Acido de Mina): Un drenaje es ácido cuando los minerales ácidos exceden a los alcalinos puede contener elevadas concentraciones de SO₄, Fe, Mn, Al y otros iones, puede tener o no bajo pH, pero la presencia de Fe, Al y Mn disueltos pueden generar iones H⁺ por hidrolisis (alta concentraron H) y bajar el pH. En cambio, en los drenajes de mina neutros o alcalinos (alcalinidad igual o mayor que acidez) también pueden tener elevadas concentraciones de SO₄. Fe, Mn y otros solutos, pero las disoluciones de los minerales carbonatados neutralizan la acidez y remueven Fe, Al y otros iones metálicos, y sin embargo no afecta significativamente la concentración de SO₄ (Art. 2° de la Ley N° 28271, 2004).

Estándar de Calidad Ambiental (ECA): Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el MINAM, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en la descarga a los cuerpos receptores en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada. (Decreto Supremo No 015-2015-MINAM, 2015) El objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, es que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Este parámetro fue creado para ser utilizado en minas en actividad, sin embargo, en nuestro país las minas que aún estaban en funcionamiento y no contaban con un Plan de Cierre de Minas fueron alcanzadas por el PAMA (Plan de Adecuación y Manejo Ambiental).

Turbidez o turbiedad: Es una expresión de la propiedad óptica que causa la dispersión y absorción de la luz más que la transmisión en línea recta cuando pasa a través de una muestra. (COVENIN, 2002). La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros. Actualmente, el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en Unidades de Turbidez Nefelométrica, UTN. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Romero, 2002).

Temperatura: Es la medida del estado térmico según alguna escala numérica establecida en forma arbitraria (COVENIN, 2002). El factor temperatura es importante porque actúa como elemento que retarda o acelera la actividad biológica, absorción de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera por el agua, e influye en la proliferación de algas y en la precipitación de compuestos. Además, afecta los procesos de tratamiento como la desinfección por cloro, y por tener influencia sobre la viscosidad del agua incide también indirectamente en los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración (AGUASANITARIAS S.A.S., 2009).

Potencial de Hidrogeno (pH): El PH es el logaritmo negativo o el logaritmo recíproco de la actividad del ión hidrógeno en una solución acuosa o de otro solvente especificado (COVENIN, 2002). El valor del pH juega un papel importante en ciertos procesos de potabilización, como la coagulación, la desinfección por cloro, el ablandamiento y el control de corrosión (AGUASANITARIAS S.A.S., 2009). Su medición es usada universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución. Es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia.

Partículas coloidales: La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración. Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 milimicrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen (Figura 2.4). Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbidez (Barrenechea,

Coagulantes Naturales: La coagulación-floculación con productos naturales y posterior sedimentación es un tratamiento muy extendido en zonas en las que la escasez de agua viene acompañada de falta de electricidad y de medios técnicos. La técnica, consiste en el empleo de semillas de cultivos o plantas endémicas, para purificar el agua empleando las propiedades coagulantes e incluso antibióticas de algunas semillas. La principal ventaja del método es el ahorro de coagulante químico y el principal inconveniente es que el agua tratada con este método no puede ser almacenada más de 24 horas, ya que se inicia un proceso de descomposición del agua como consecuencia de la adición de sustancias orgánicas a ésta.

Mucílago de *Opuntia ficus-indica*: El mucílago es una sustancia pegajosa producida en las células que se encuentran tanto en el clorénquima, como en el parénquima y que ayuda a los cactus a retener agua (Barbera y col., 1995). Varios grupos han reportado, que el mucílago de *Opuntia* spp., está compuesto de L-arabinosa, galactosa-D, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico, aunque las proporciones relativas reportadas varían (Sáenz y col., 2004; Trachtenberg y Mayer, 1981; Medina-Torres y col., 2000) La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores (Albraján, 2008).

Mecanismos de coagulación de especies del género *Opuntia*

El mecanismo de coagulación predominante de *Opuntia* es el de adsorción y puente, por el que las partículas de arcilla no tienen contacto directo entre sí, pero están ligadas a un material similar al del polímero de *Opuntia*. La adsorción puede ocurrir a través de enlaces de hidrógeno o interacciones dipolo (Crittenden, 2005). Es probable que los electrolitos naturales dentro de los cladodios de *Opuntia*, en particular los cationes bivalentes, que se conocen por ser importantes para la coagulación con polímeros aniónicos (Miller, 2008), faciliten la adsorción.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el Mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” en la reducción de Cu, Cd, Fe Pb y Zn del drenaje ácido de mina de la compañía minera Colquirrumi S.A. en la provincia de Hualgayoc, región de Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del Mucílago de “Opuntia ficus-indica” en la reducción de Cu, Fe, Zn, Pb y Cd de drenaje ácido de mina en la quebrada Honda, perteneciente al pasivo minero de la concesión de la empresa minera Colquirrumi S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de Cu, Fe, Zn, Pb y Cd en el drenaje ácido de mina sin tratamiento.
- Determinar la concentración de Cu, Fe, Zn, Pb y Cd en el drenaje ácido de mina después del tratamiento con mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”.
- Determinar la eficiencia del mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” en el drenaje ácido de mina.

1.4. Hipótesis

La aplicación de Mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” influye en la reducción de la concentración de Cu, Cd, Fe, Pb y Zn del drenaje ácido de mina de la compañía Colquirrumi S.A.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es aplicada, tipo no experimental con diseño descriptivo transversal porque se realizaron pruebas de laboratorio para obtener resultados en la variable dependiente y poder informar sobre el tratamiento con mucilago de “*Opuntia ficus-indica*”.

Es transversal porque las muestras fueron tomadas en un solo día con intervalos de 30 minutos en el efluente de drenaje ácido de mina; se realizaron una Pre-prueba, Post-prueba y un grupo de control, donde el grupo de control sería los ECA (categoría 3);

Obs	T ₁	T ₂	T ₃		
M ₁	M ₁ T ₁	M ₁ T ₂	M ₁ T ₃	M ₁ = Muestra 1	T ₁ =40% Concentrado de Mucilago
M ₂	M ₂ T ₂	M ₂ T ₂	M ₂ T ₃	M ₂ = Muestra 2	T ₂ =60% Concentrado de Mucilago
M ₃	M ₃ T ₃	M ₃ T ₃	M ₃ T ₃	M ₃ = Muestra 3	T ₃ =80% Concentrado de Mucilago

2.2. Población

Efluente de drenaje ácido de mina generado por cuatro bocaminas que se vierte en la quebrada Honda ubicado dentro de la concesión de la Compañía Minera Colquirrumi S.A.

2.3. Muestra

El muestreo está constituido por cuatro muestras de un litro cada uno del efluente de drenaje ácido de mina ubicado dentro de la concesión de la Compañía Minera Colquirrumi S.A.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas usadas para la recolección de datos serán: O

- Observación
- Documental
- Experimental
- Análisis

2.4.1. Materiales para recolectar datos.

2.4.1.1. Material biológico

- Nopal “Opuntia Ficus”.
- Muestra de Drenaje Ácido de Mina aguas, de la quebrada Honda, Hualgayoc-Cajamarca.

2.4.1.2. Reactivos

- Ácido nítrico.
- Agua destilada.

2.4.1.3. Material de laboratorio

- Barbijo.
- Gasa.
- Envases de vidrio.
- Envases de plástico Blanco.
- Cuchillo.
- Espátula.
- Guantes látex.
- Papel filtro.

2.4.1.4. Equipos de laboratorio

- Multiparámetro portátil HACH / HQ / 155050 - 0001- 082.
- Turbidímetro portátil HACH / PG 4390100002 / 14120C037580.
- Balanza analítica OHAW / PA 224 / B444195004.
- Medidor combo de pH ce tds y temperatura - hi98130.

2.4.2. Técnicas para recolectar datos.

- Observaciones directas del terreno.
- Manuales.
- Planos de ubicación.
- Localización de la zona.
- Planos topográficos.
- Carta geográfica.
- Geología del yacimiento.
- GPS GARMIN 12 Channel GPS.

2.4.3. Procedimientos

2.4.3.1. Obtención de las muestras: Quebrada Honda – Hualgayoc.

La información se obtendrá mediante la recolección de muestras de agua in-situ del efluente de drenaje ácido de mina, con las cuales se realizarán las prácticas de laboratorio para determinar sus características físico-químicas (turbidez, pH, conductividad, contenido de metales, etc.) luego se procederá a utilizar el mucílago de “Opuntia ficus-indica” que se adicionará a las muestras de agua, procediendo nuevamente a hacer mediciones para demostrar la efectividad de la Opuntia ficus-indica para finalmente comparar los resultados obtenidos



Figura 2. Fotografía de la tubería del efluente.

Fuente: Elaboración propia.

Se tomaron muestras puntuales de un pasivo ambiental minero que se encuentra en el Km 78 carretera a Hualgayoc, dentro de las concesiones de la Compañía Minera Colquirrumi S.A.

La recolección de muestras de agua se realizó de manera manual, aplicando muestreo no probabilístico y de acuerdo a metodologías establecidas por el “Procedimiento operativo estándar (POE)” del Protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero metalúrgicas (2011).

Las cuales son las siguientes.

- Identificar el tipo de envase para tu recolección, para este caso envases de plástico de color blanco de 1,000 ml.
- El envase debe ser lavado tres veces con el agua muestreada in-situ.
- Recolección de muestras de agua de drenaje ácido.
- Tomar mediciones de los parámetros posibles en campo.
- Tapado de los envases con tapones herméticos.
- Codificación de muestras y registrar el número de muestras en la libreta de campo.
- Registrar cuidadosamente todas las observaciones adicionales en la libreta de campo.
- Almacenar las muestras en un contenedor térmico (Cooler).
- Transporte de las muestras al laboratorio para su posterior análisis.

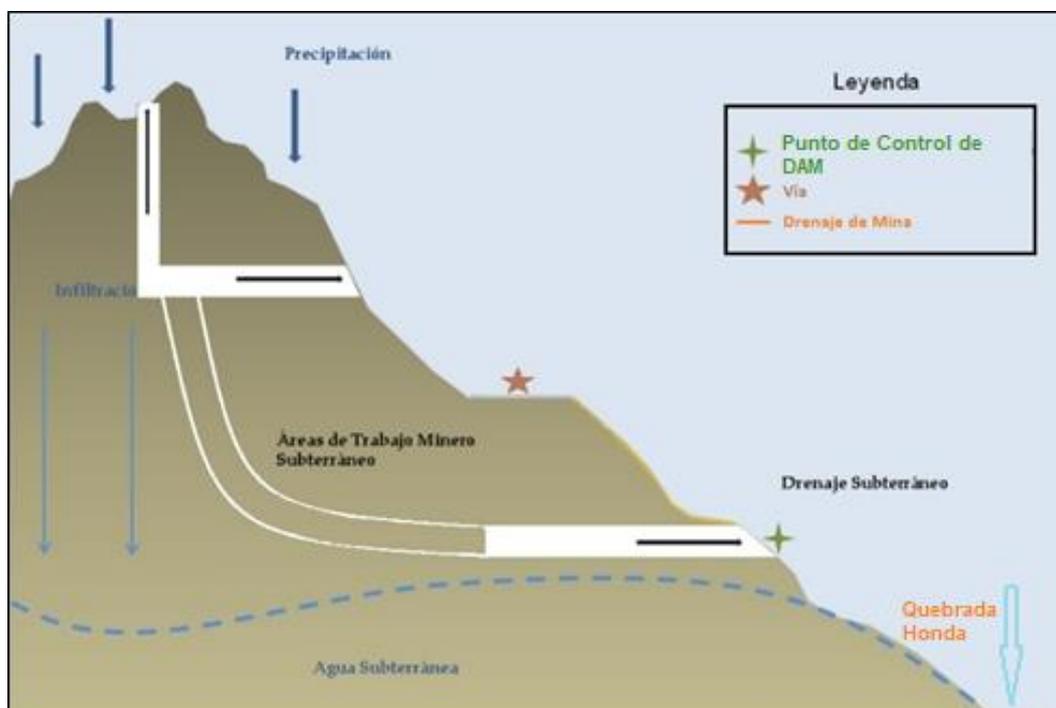


Figura 3. Punto de Control de la Quebrada Honda
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Fotografía de toma de muestras.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Característica de las muestras de agua en la quebrada Honda.

Muestra	Volumen (ml)	Olor	Color
T1	1,000	Fétido (Hierro)	Amarillento
T2	1,000	Fétido (Hierro)	Amarillento
T3	1,000	Fétido (Hierro)	Amarillento

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.3.2. Recolección de *Opuntia ficus Indica*:

Esta especie fue recolectada entre el Km 7 y 8 de la carretera a Bambamarca – Caserío Huambocancha Alta. Las pencas se seleccionaron de manera manual a través de un muestreo aleatorio simple, donde una vez recolectadas fueron trasladadas al laboratorio para su posterior uso, cabe recalcar que se tomó en cuenta su apariencia saludable, tamaño, grosor y color.



Figura 5. Foto de la recolección de las pencas de “*Opuntia ficus-indica*”.

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Procedimiento

2.5.1. Análisis fisicoquímicos de las muestras.

Para la determinación de metales totales las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico, con capacidad de 1,000 ml., además se recolecto 14 litros adicionales en un recipiente de plástico con capacidad de 18 litros para posibles análisis adicionales. Se realizaron una serie de análisis, según los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas (2011) con la finalidad de conocer las características fisicoquímicas del agua cruda. A continuación, se muestran los parámetros que se pudieron medir:

- Flujo.
- Conductividad Eléctrica.
- Temperatura.
- Partículas Disueltas.
- Contenido de metales.

2.5.2. Extracción del mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”:

Una vez recolectadas las pencas, se procederá a eliminar la mayor cantidad de espinas, a lavar los cladodios, retirar la epidermis y cortar las cactáceas en trozos pequeños, se conservará solo la medula que luego será cortada en cubos (1cm de ancho por 1 cm de largo y 1 cm de espesor aproximadamente) hasta obtener pesos de: 400, 480 y 640 gr, los cuales se introducirán en recipientes con agua de 800 ml., se dejará reposar un par de días; posteriormente se procederá a filtrar el mucílago en un recipiente de vidrio. El mucílago será almacenado en un recipiente hermético en el refrigerador (6

- 8 °C) y se mantendrá en estas condiciones hasta el desarrollo de la etapa experimental.

Terminadas las 48 horas de maceración, el extracto viscoso extraído se filtró con una gasa; para determinar las concentraciones se relacionó el extracto (mucílago) obtenido de los pesos de 320, 480 y 640 gramos de “*Opuntia ficus-indica*” por el porcentaje peso-volumen (w/v) y se obtuvieron las concentraciones de 40%, 60%, 80% de mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”.

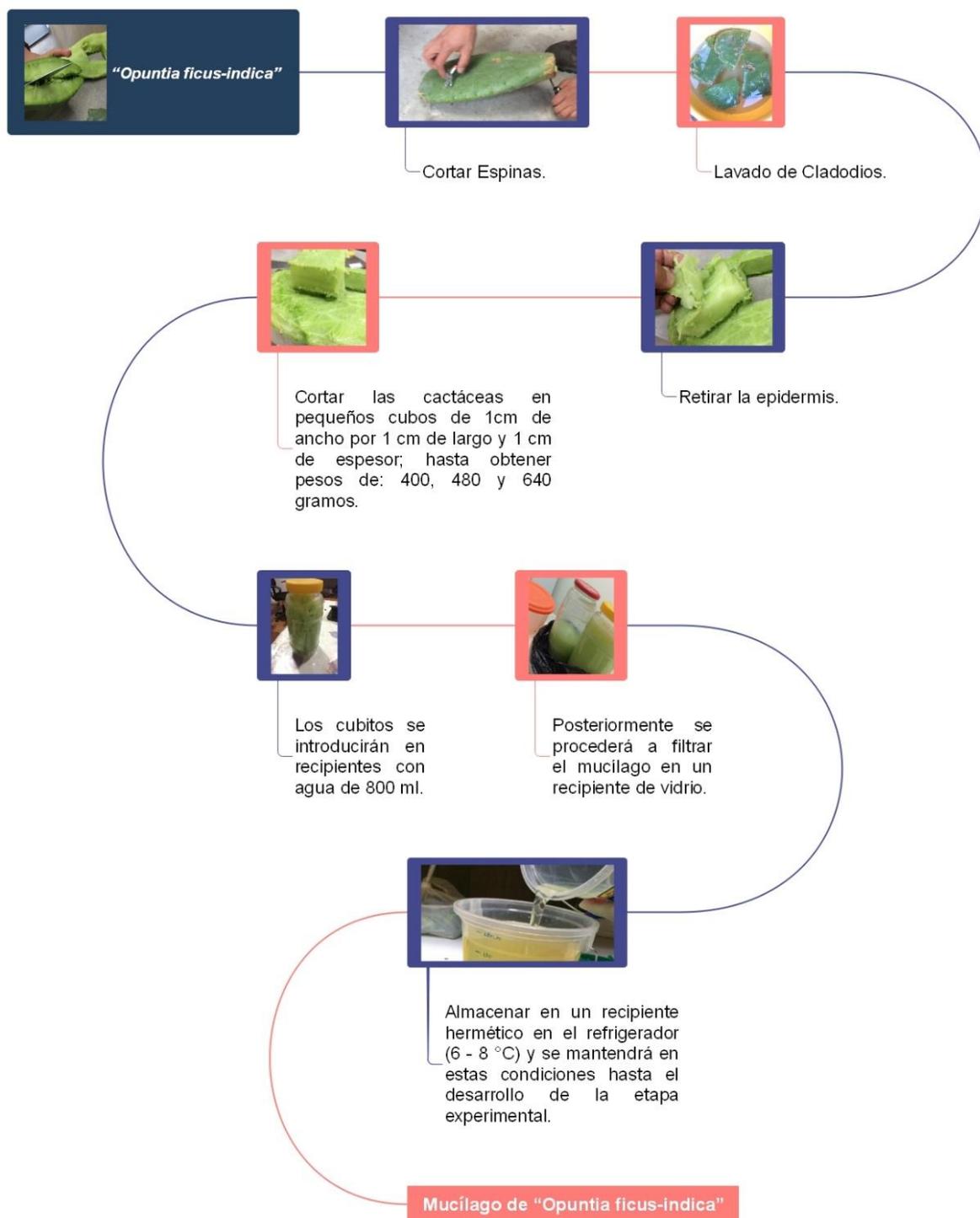


Figura 6. Proceso de la obtención de mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Proceso de retiro de la epidermis para obtener el mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Determinación de la concentración de mucílago “*Opuntia ficus-indica*” para reducir metales.

Después de la caracterización fisicoquímica de las muestras de drenaje, en un volumen de un litro se procederá agregar 80 ml de las concentraciones de (50%, 60%, 80%) y determinar la eficiencia con cada porcentaje de concentración de mucílago de *Opuntia ficus-indica* en la reducción de metales como: Cu, Fe Zn, Pb y Cd. Como se mencionó anteriormente se procedió a

preparar distintas concentraciones de este mucílago para adicionar a las muestras de la quebrada.

Tabla 3

Concentraciones de las soluciones de “Opuntia ficus-indica”.

Extracto	Volumen (ml)	Peso de “Opuntia ficus-indica” (gr)	Concentración (%)
M 1	800	320	40
M 2	800	480	60
M 3	800	640	80

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.4. Determinación de Parámetros fisicoquímicos.

2.5.4.1. Pre-tratamiento.

Primero se recolectaron 04 muestras en recipientes de plástico blanco con capacidad de 1,000 ml., para luego determinar parámetros como conductividad, pH y temperatura in-situ, mediante el uso del equipo Multiparámetro Medidor combo de pH, CE, TDS y temperatura - hi98130, donde se procedió a recolectar los datos de las primeras muestras iniciales para luego llevar 01 al Laboratorio de la Compañía Minera Coimolache S.A. y 02 al Laboratorio Regional del Agua, para la determinación de metales.

Parámetro	Unidad de medida
Turbidez	UNT
pH	valor (rango)
Conductividad	MiliSiemens (ms)
Cantidad de metales en el agua	ppm.
Temperatura	Centígrados (°C)

2.5.4.2. Post-tratamiento.

Luego de la adición de los concentrados de mucílago de “Opuntia ficus-indica” se procedió a determinar los parámetros antes mencionados, para hacer una comparación.

Parámetro	Unidad de medida
Turbidez	UNT
pH	valor (rango)
Conductividad	MiliSiemens (ms)
Cantidad de metales en el agua	ppm
Temperatura	Centígrados (°C)

- Métodos para el análisis de pos tratamiento.

Visualización de datos

En esta etapa se analizará los datos a obtenidas de las tablas a través de histogramas y gráficos, de tal forma determinar el grado de relación entre las variables cuantitativas como son los resultados del análisis de concentrado de metales.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Análisis fisicoquímicos de las muestras (pre-tratamiento).

A continuación, se presentan los resultados de las propiedades fisicoquímicas en la quebrada Honda, Hualgayoc, así como de la concentración metálica, conductividad y pH.

Tabla 4

Resultados de la determinación de parámetros fisicoquímicos de las muestras de la quebrada Honda.

Parámetros	Muestra		
	T1	T2	T3
Volumen (ml)	1 000	1 000	1 000
Caudal	0.8	0.9	0.8
pH	3,06	3,03	3,02
Temperatura (°C)	15,84	16,83	16,61
Conductividad(uS/cm)	1,10	1,09	1,09
Partículas disueltas(ppt)	0.54	0.54	0.55

Fuente: Elaboración Propia

En el curso de la quebrada, existe mucha contaminación, como ya se mencionó anteriormente, además cabe resaltar que la empresa minera se encargó de coleccionar las aguas de las bocaminas para que desemboquen en una tubería ubicada 10m más abajo, tomándolo como un punto de control para su monitoreo.

Tabla 5

Resumen de resultados de la determinación de metales en la quebrada para el punto de control.

Numero de muestra	Cobre (Cu) ppm	Cadmio (Cd) ppm	Hierro (Fe) ppm	Plomo (Pb) ppm	Zinc (Zn) ppm	pH a 16.4°C	Conductividad
T1	0.44	0.075	21.71	1.33	14.68	3.06	1.10
T2	0.44	0.076	21.65	1.31	14.65	3.03	1.09
T3	0.45	0.075	21.73	1.34	14.71	3.02	1.09

Fuente: Elaboración Propia

Esta data fue obtenida del primer muestreo que se realizó, donde se resaltaran los metales como Cu, Cd, Fe, Pb y Zn, provenientes de la captación de las 4 bocaminas.

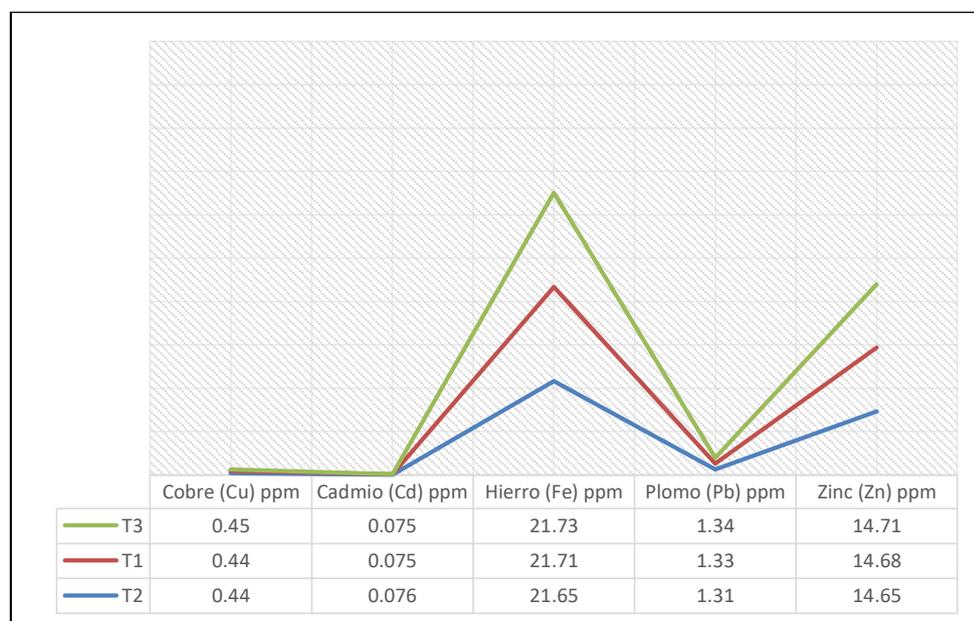


Figura 8. Gráfico de resumen de resultados de la determinación de metales (Pre Tratamiento). Fuente: elaboración propia.

Tabla 6

Límites Máximos Permisibles para efluentes mineros

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento
pH	-	6 - 9
Cu	ppm	0.5
Cd	ppm	0.05
Fe	ppm	2
Pb	ppm	0.2
Zn	ppm	1.5

Fuente: Protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas.

La tabla de Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM) nos servirá como referencia para los análisis posteriores y resultados que se obtengan.

3.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos (post-tratamiento).

En esta parte se harán referencia a los datos recolectados después del tratamiento de las muestras con mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”.



Figura 9. Muestras de la quebrada Honda tratadas con mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”, elaboración propia.

3.3 Análisis Físico Químicos en Laboratorio

Según el Anexo 10.4 del Laboratorio de ensayo acreditado por el Organismo Peruano de acreditación INACAL – DA con registro N° LE 084 del ANA.

Se utilizó el método del ensayo: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry se determinó los siguientes resultados.

Tabla 7

Resultados de la determinación de parámetros fisicoquímicos de las muestras con tratamiento con mucílago de “Opuntia ficus-indica”.

Parámetros	Muestra		
	T1	T2	T3
Volumen (ml)	1,000	1,000	1,000
pH	4.78	4.34	4.24
Temperatura (C°)	20.6	20.9	20.7
Conductividad(uS/m)	1.52	1.46	1.43
Partículas disueltas(ppt)	0.30	0.31	0.33

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8

Resumen de resultados de la determinación de metales en las muestras tratadas con mucílago de “Opuntia ficus-indica”.

Numero de muestra	Cobre (Cu) ppm	Cadmio (Cd) ppm	Hierro (Fe) ppm	Plomo (Pb) ppm	Zinc (Zn) ppm	pH °C	Conductividad
T1	0.188	0.022	19.57	0.45	3.586	4.78	1.52
T2	0.186	0.024	17.11	0.41	3.743	4.34	1.46
T3	0.173	0.021	17.49	0.34	3.392	4.24	1.43

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9

Parámetros fisicoquímicos para muestras tratadas con mucílago de “Opuntia ficus-indica” a diferentes concentraciones.

Extracto	Muestra	Concentración	Volumen	Conductividad	Ph Final
M1	T1	40%	1000	1.52	4.78
M2	T2	60%	1000	1.46	4.34
M3	T3	80%	1000	1.43	4.24

Fuente: Elaboración Propia

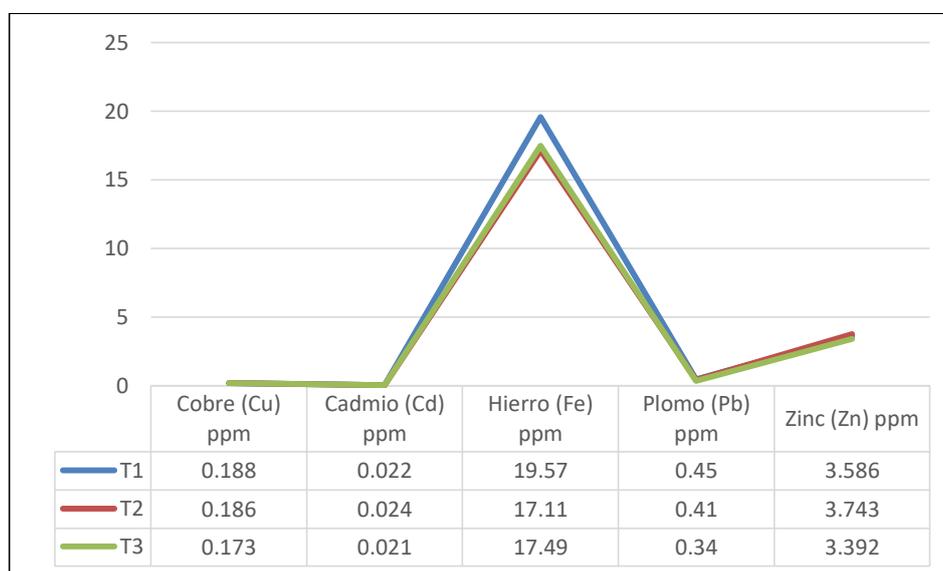


Figura 10. Gráfico Resumen de resultados de la determinación de metales (Post Tratamiento).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10

Análisis fisicoquímico del extracto de Mucílago (M3) al 80%.

Parámetros	Unidades	M3
Temperatura	°C	4.24
Conductividad	S/m	1.43
Solidos Disueltos	mg/L	0.33
pH	Valor	4.24

Fuente: Elaboración Propia



Figura 11. Fotografía de los sedimentos en la muestra T1 y T2.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Elaboración Propia, fotografía de los sedimentos en la muestra T3.
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Presentación de Resultados

Tabla 11

Resultados en porcentaje de muestra optima de Mucilago de "Opuntia ficus-Indica"

Cu	Cd	Fe	Pb	Zn
Muestra Sin Tratamiento				
0,45	0,08	21,73	1,34	14,71
Muestra con Tratamiento				
0,173	0,021	17,490	0,340	3,392
Relación en porcentajes en grado de reducción				
38.44%	28.00%	80.49%	25.37%	23,06%

Fuente. *Elaboración Propia.*

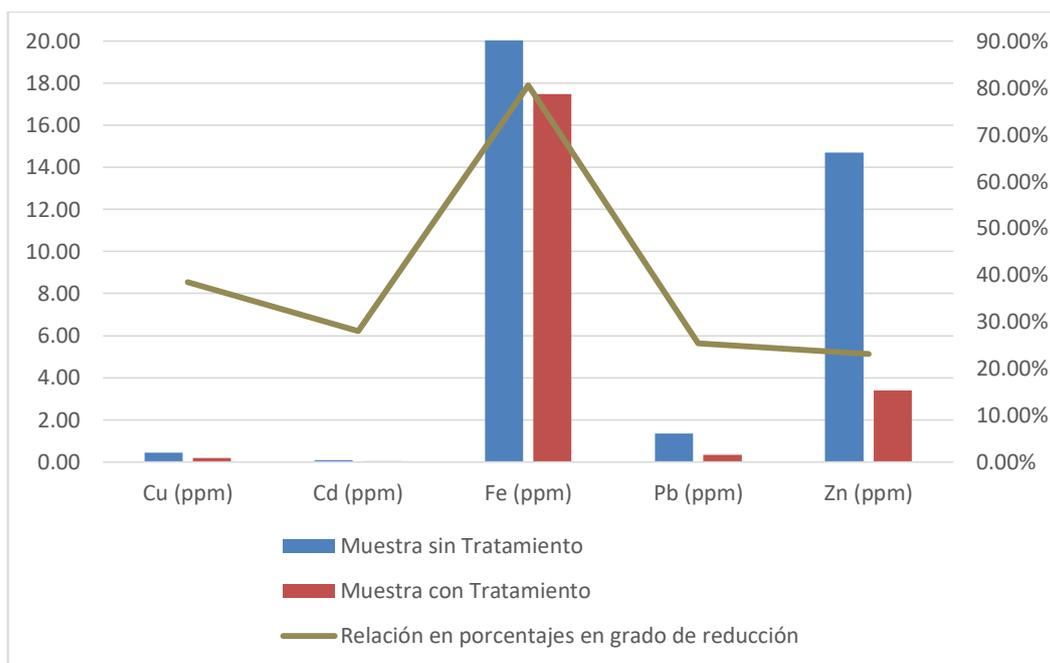


Figura 13. Gráfico resumen de resultados de tratamiento con mucilago de "Opuntia ficus-Indica" al 80% de concentración.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Análisis y Discusión

4.1.1 Análisis y descripción de parámetros fisicoquímico de las muestras (pre-tratamiento).

- En la Figura 8 y Tabla 5, se presentan los resultados de las muestras sin tratamiento en donde se puede observar que el valor más alto de Fe se da para la muestra T3 con un valor de 21.73 ppm, esta muestra tiene también los valores máximos de Cu con 0.45ppm, Pb con 1.34ppm, Zn con 14.71ppm y Cd con 0.075ppm. Por otro lado, los valores más bajos son los de la muestra T2, Cu con 0.44ppm, Fe con 21.66ppm, Pb con 1.31ppm, Zn con 14.65ppm a excepción del Cd con 0.076ppm cuyo valor es el más alto de las 03 muestras.
- En la Figura 8 y Tabla 6 podemos hacer una comparación de los valores de los metales en ppm y los ECA (categoría 3) para efluentes mineros, donde observamos que las muestras sin tratamiento exceden por mucho a la tabla de ECA los mayores valores excedentes se dan para metales como el Fe con 21.73 ppm, Zn con de 14.71 ppm, Pb con 1.34 ppm, Cd con 0.076, con excepción del Cu que para las 03 muestras se encuentra dentro de los límites.
- En la Tabla 5 y Tabla 6 podemos hacer una comparación con respecto al pH, para las muestras T1, T2, T3 el pH tiene valores de 3.06, 3.03, 3.02 respectivamente, lo que en comparación al Límite en cualquier momento para el valor del pH de la Tabla 6 nos da a entender que el agua es muy acida. Podemos decir que este cambio se debe al elevado contenido de sulfuros en

Fe, Cu, Zn y Pb que al entrar en contacto con el agua genera drenaje ácido de mina.

4.1.2. Análisis y descripción de parámetros fisicoquímicos de las muestras (post-tratamiento).

- En la Figura 9 se muestra el proceso de adición del mucílago a las muestras lo que nos arroja los datos presentados en la Tabla 7; haciendo una comparación de pH entre la Tabla 4, con valores de 3.06, 3.03 y 3.02, y la Tabla 7, con valores de 4.78, 4.34 y 4.24 podemos ver el aumento de pH después del tratamiento con mucílago.
- En la Figura 10 y Tabla 8 se puede observar que la muestra T1 resulto ser la que tenía mayores niveles de contenido metálico con el tratamiento a una concentración de mucílago del 40% se obtuvo valores como el Fe con 19.57ppm, Pb con 0.45 ppm y el Cu con 0.188ppm. De la muestra T2 podemos decir que tiene una tendencia casi parecida a la muestra T1, pero en esta el valore de Fe es el menor de las 03 con un valor de 17.11ppm. En cambio, al hacer la comparación de las muestras T1 y T2 con la muestra T3 con un concentrado de 80% de mucílago, se obtuvo una reducción considerable de metales, con respecto al Cu se obtuvo un valor de 0.173ppm, Cd con 0.021ppm, Pb con 0.34ppm, Zn con 3.392ppm.
- De la Figura 8, Figura 10 Tabla 6 y Tabla 8, podemos decir que para la corrida de metales inicial en comparación a la final se obtuvo valores que estuvieron dentro del ECA (categoría 3) para las tres muestras como es el caso del Cu (cuyos límites máximos son de 0.5ppm) con valores de 0.188ppm, 0.186ppm, 0.173ppm y para el Cd con valores de 0.022ppm, 0.024ppm, 0.021ppm

(cuyos valores para el ECA (categoría 3) son 0.5ppm y 0.005ppm), también se pudo observar una gran reducción en los valores para el Fe cuyo mínimo fue el de la muestra T2 con un valor de 17.11ppm, para el Pb el menor valor fue el de la muestra T3 con un valor de 0.34ppm y para el Zn fue el valor de 3.392ppm de la muestra T3, en estos últimos tres metales no se llegó a alcanzar los valores de los ECA (categoría 3) pero se puede resaltar que el tratamiento pudo reducir mucho el Zn cuyo valor mínimo lo obtuvo la muestra T3 con un valor de 3.392ppm.

4.1.3. Discusión de Resultados.

- Los resultados obtenidos al aplicar el concentrado de mucilago de “*Opuntia ficus-indica*” al 80% a las muestras del efluente de Drenaje Acido de Mina fueron Fe 17.49ppml, Pb 0.34ppm y pH de 4.24. Estos resultados difieren a los de Aquino ya que en su investigación el tratamiento fue aplicado a agua contaminada del rio Chili empleando un concentrado al 80 % de extracto de mucilago de “*Opuntia ficus-indica*” sus resultados fueron de Fe 0.059ppml y Pb con 0.026ppm y un pH de 7.11 con esto podemos comparar que en nuestra tesis como en la de Aquino, el valor más óptimo es el de un 80% de concentrado de mucilago de “*Opuntia ficus-indica*” en donde la muestra tratada va aumentando su pH y disminuye la concentración de metales pesados.
- Al comparar nuestros resultados, con los obtenidos de la tesis de maestría de Vilchez se demuestra que tanto el método de desecado de “*Opuntia ficus-indica*” como el método de extraer el mucilago “*Opuntia ficus-indica*” es una alternativa factible ya que este actúa como coagulante natural primario para

la reducción concentrado metálico de Cu, Cd, Fe, Pb y Zn. También podemos observar que aplicando mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” se obtiene un aumento de pH, donde nos brinda resultados de hasta 4.78 de pH; en cambio en la tesis de maestría de Vílchez los valores de pH obtenidos aplicando desecado de “*Opuntia ficus-indica*” es de 6.7 a 7.38.

- En los resultados brindados por Monserrat al aplicar “*Opuntia ficus-indica*” observamos que es un excelente floculante para la remoción de partículas suspendidas y como reductor de concentrado de metales pesados. Así como también los resultados de nuestra tesis al aplicar el concentrado de mucilago de “*Opuntia ficus-indica*” al efluente de Drenaje Acido de Mina determina que es un excelente floculante y reductor de concentrado de metales pesados, dándonos como resultados donde Cd es 0.021, y un pH de 4.24; sin embargo, el estudio de Monserrat con el uso de “*Opuntia ficus-indica*” nos brinda resultados como Cd con 13.4mg/l y un pH de 6.
- En el análisis Gonzales relaciona el color de agua y el contenido de metales, determinado así el grado de coagulación y floculación del mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”, además nos describe de la presencia de formación inmediata de flocs en el proceso de floculación; brindándonos así el porcentaje de reducción para el Fe en 80 %, para el Zn en 15 %, Pb en 78 % y un pH de 8.5; caso distinto al análisis realizado en nuestro estudio donde nos presenta una reducción para el Fe hasta 80.49%, para Zn en 23.06 % y para plomo en 25.37 y un pH de 4.24.
- Los resultados de las muestras post-tratamiento ver (Tabla 8) comparado con las tablas de los ECA Categoría III, ver (Anexo 1) y (Anexo 2), nos dan

valores más aceptables para el uso del agua para riego de vegetales y para bebida de animales.

- Los resultados de esta investigación nos ayuda a conocer nuevos métodos naturales para la el tratamiento de aguas contaminadas, en cambio en la investigación de Okun plantea que la utilización de tecnologías convencionales de potabilización no son adecuadas ya que en diversos estudios ha sido comprobado que el uso sulfato de aluminio como coagulante deja aluminio residual en el agua, el cual genera enfermedades neurodegenerativas como mal de Alzheimer (Medlin, 1990), además estas tecnologías tienen un elevado coste de inversión y gestión, si es que el reactivo químico usado en la potabilización no es procesado en el mismo país de aplicación.

4.2 Conclusiones

- Se concluye con los resultados obtenidos de la investigación, que el mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” reduce el concentrado de metales en el drenaje ácido de mina; obteniéndose así resultados favorables al momento de aplicar el mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” al 80% de concentrado al drenaje ácido de mina, y así un nivel de concentración más aceptable a los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua de riego vegetal o de consumo de animales (ECA categoría 3).
- Se evaluó la influencia del Mucílago de “*Opuntia ficus-indica*” en la reducción de Cu, Cd, Fe Pb y Zn de drenaje ácido de mina en la quebrada Honda, perteneciente al pasivo minero de la concesión de la empresa minera Colquirrumi S.A.
- Se determinó la concentración de Cd en 0.075ppm, Cu en 0.45ppm, Fe en 21.73 ppm, Pb en 1.34ppm y Zn en 14.71 ppm, el drenaje ácido de mina sin tratamiento.
- Se determinó la concentración de Cd en 0.021ppm, Cu en 0.173ppm, Fe en 17.49ppm, Pb en 0.34ppm y Zn en 3.392ppm, en el drenaje ácido de mina después del tratamiento con mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”.
- Se determinó la eficiencia del mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”, en Cd con una reducción al 28 % del valor inicial, llegando de 0.075ppm hasta 0.021ppm, Cu con una reducción al 38.44 % del valor inicial, llegando de 0.45ppm hasta 0.173ppm, Fe con una reducción al 80.49 % del valor inicial, llegando de 21.73ppm hasta 17.49ppm, Pb con una reducción al 25.37 % del valor inicial, llegando de 1.34ppm hasta 0.340ppm y Zn con una reducción al 23.06 % del valor inicial, llegando de 14.71ppm hasta 3.392pp.

- Se concluye también que este tratamiento es óptimo para la reducción de metales, mas no para la reducción de pH por lo que se puede usar como un pre-tratamiento y luego un tratamiento con cal para su aumento de pH

REFERENCIAS

- Almendárez de Quezada N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua “Piedras Azules”. Managua, Nicaragua Revista Iberoamericana de Polímeros 5
- Álvarez y Bautista (1989). Sistemática de la tuna cultivada en el Perú, en I curso de plantación y manejo de tunales y propagación de cochinilla en las cuencas altas andinas del Perú. Cajamarca – Perú.
- ANA (2016). R.J. N° 010-2016-ANA Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima - Perú
- Dorea, C. (2006). Use of Moringa spp.seeds for coagulation a review of a sustainable option. Water Science. Cambridge, Australia Recuperado de <http://www.iwaponline.com/ws006010219.htm>.
- Ganjidoust, H. Tatsumi, K. Yamagishi, T. y Gholian R. (1997). Effect of syntethic and natural coagulant on ligning removal from pulp and paper waste water. Water Science Technology. San Luis, USA. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article122396009432>.
- Nobel, P.S., Cavelier, J. y Andrade J.L. (1992). Mucilage in cacti: its apoplatic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations.

Journal of Experimental Botany. Oxford, UK. Recuperado de <http://jxb.oxfordjournals.org/content/43/5/641.abstract>.

Özacar M., Sengil I. A.; (2000). Effectiveness of tannins obtained from Valonia as a coagulant aid for dewatering of sludge. Wat. Cambridge, Australia.

Özacar M., Sengil I. A.; (2002). The use of tanins from Turkish acorns (Valonia) in water treatment as a coagulant and coagulant aid. Turkish J. Eng. Cambridge, Australia.

Özacar M., Sengil I. A. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng. Cambridge, Australia.

PERCAN (2011). Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero - Metalurgicas. Lima - Perú

Pulgar J. (1992.), 123 Frutales nativos. Publicación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima – Perú

Sáenz, C. y Sepúlveda, E. (1993). Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficusindica*). Santiago, Chile Revista de Alimentos. Recuperado de http://www.jpacd.org/downloads/Vol7/V7_3.pdf.

Samia, J. (1989). Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural. Perú: CEPIS/OPS/OMS.

Schulz C.R., Okun D.A.. (1983). Treating surface waters for communities. Developing countries. New York, USA. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAR120.pdf.

Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. y Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014019630600259X>.

Trachtenberg, S. y Mayer, A.M. (1981). Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*. USA. Recuperado de http://www.japsonline.com/admin/php/uploads/541_pdf.pdf.

Vázquez, O. (1994). Extracción de Coagulantes Del Nopal y Aplicación en la Clarificación de Aguas Superficiales. Monterrey, Mexico: Editorial Zeta-Meter.

ANEXOS

ANEXO n° 1. Tabla 12. Parámetros para riego de vegetales.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	mg/L	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros y Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4
pH	Unidad de pH	6.5-8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0.05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0.05
Bario total	mg/L	0.7
Boro	mg/L	0.5-6
Cadmio	mg/L	0.005
Cianuro Wad	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	0.05
Cobre	mg/L	0.2
Cromo (6+)	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso y Níquel	mg/L	0.2 c/u
Mercurio	mg/L	0.001
Plata, Plomo, Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
S.A.A.M.(detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1

Continuación de la Tabla 11 Parámetros para riego de vegetales.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Aldrín (CAS 309-00-2) y Endrin	ug/L	0.004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0.3
DDT	ug/L	0,001
Dieltrín (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0.7
Endosulfán	ug/L	0.02
Heptacloro (N°CAS 76-44-8) Y heptacloripoxido	ug/L	0.1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7.5

Fuente: Decreto Supremo N° 002 -2008–MINAM

ANEXO n° 2. Tabla 13. Parámetros bebidas de animales.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruro	mg/L	2
Nitratos (NO3-N)	mg/L	50
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	>5
pH	Unidades de pH	6.5-8.4
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0.05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico y Berilio	mg/L	0.1c/u
Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0.01
Cianuro WAD	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0.5
Cromo (6+) y Hierro	mg/L	1c/u
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Níquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05

Continuación de la Tabla 12 Parámetros para bebida de animales.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Plomo	mg/L	0.05
Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	24
Orgánicos		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1

Fuente: Decreto Supremo N° 002 -2008-MINAM

ANEXO n° 3. Recolección de “*Opuntia ficus-indica*”.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 4. Retiro de la epidermis para la obtención del mucílago de “*Opuntia ficus-indica*”.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 5. Filtrado de Concentrado del mucílago del “*Opuntia ficus-indica*”.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 6. Concentrado del mucílago del “*Opuntia ficus-indica*”.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 7. Identificación y recolección “DAR”.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 8. Codificación de muestras de agua.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 9. Medición de Parámetros como temperatura, conductividad, pH (In situ).



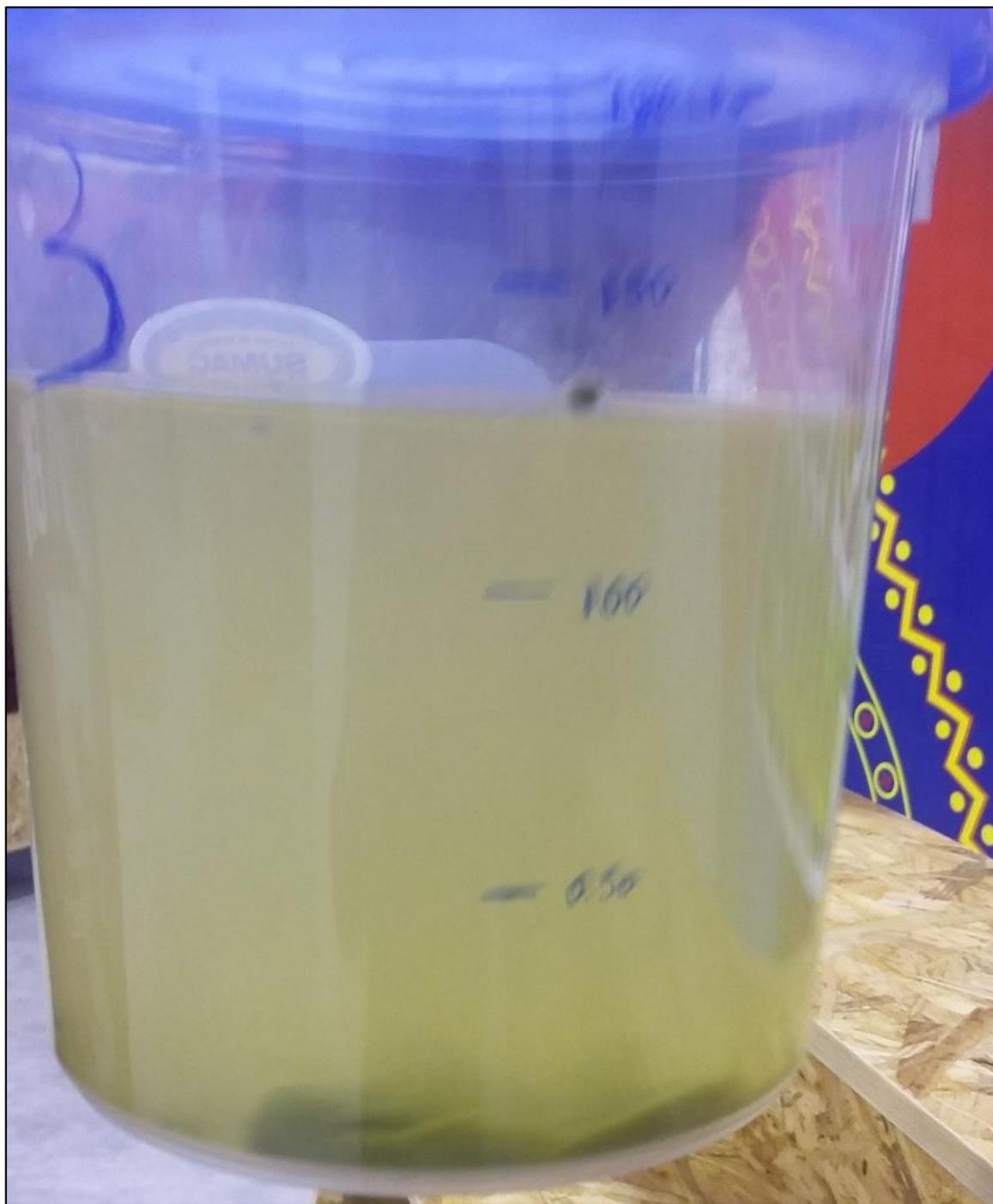
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 10. Medición de Parámetros como temperatura, conductividad, pH (En Gabinete).



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 11. Sedimentación de solidos (metales) en la muestra M3.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 12. Fotos de los Tesistas en el punto de Muestreo.

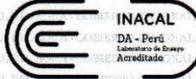


Fuente: Elaboración propia.

ANEXO n° 13. Informe de Ensayo N° IE 1116557

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116557

Razón Social del Cliente: Jhonatan Cholan Minchan

Dirección: -

Ciudad: Cajamarca

Atención: -

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedente de Quebrada Honda - Cajamarca.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC.557 -17, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 23 de Noviembre de 2017 para la determinación de parámetros Químicos.

El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Bigo. Juan Y. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 30 de Noviembre de 2017.

La válida de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

ANEXO n° 14. Informe de datos de muestra del Ensayo N° IE 1116557



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084**

INFORME DE ENSAYO N°

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag,Al,As,B, Ba,Be,Bi,Ca,Cd,Co,Cu,Cr,Fe,K,Li,Mn,Mg,Mo, Na,Ni,P,Pb,S,Sb,Se, Si,Sr, Ti,Tl,U,V,Zn)	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) PEQ1-5.4-01. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa

LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(*) Los métodos y matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 30 de Noviembre de 2017.



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

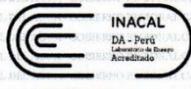
Fuente: laboratorio regional del agua

ANEXO n° 15. Informe de resultados del Ensayo N° IE 1116557



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116557

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			T - 1	T - 2	T - 3	-	-	-
Código Laboratorio			1116557-01	1116557-02	1116557-03	-	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra			Quebrada Honda	Quebrada Honda	Quebrada Honda	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/L	0.017	1.863	1.988	1.808	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	4.401	4.520	4.336	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.003	0.062	0.041	0.056	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.021	1.541	1.677	2.714	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.324	0.361	0.527	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.002	0.004	0.003	<LCM	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	88.38	102.9	130.9	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.022	0.024	0.021	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.006	0.006	0.006	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.005	0.005	0.005	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	0.188	0.186	0.173	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	19.57	17.11	17.49	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.049	342.9	338.6	370.2	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.004	0.015	0.016	0.017	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	22.61	24.28	28.75	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	9.734	10.58	10.01	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.003	0.003	0.004	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.018	5.471	4.404	2.881	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	0.010	0.011	0.013	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.020	5.224	5.089	6.519	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.447	0.407	0.342	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.085	39.80	40.05	37.54	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Silice (Si)	mg/L	0.085	9.569	9.613	9.815	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.277	0.362	0.591	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	0.025	0.024	0.022	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.003	0.029	0.032	0.030	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	3.586	3.743	3.392	-	-	-

Fuente: laboratorio regional del agua

ANEXO n° 16. Informe del método de ensayo utilizado para el resultado del Ensayo N° IE 1116557



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N°

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag,Al,As,B, Ba,Be,Bi,Ca,Cd,Cu,Cr,Fe,K,Li,Mn,Mg,Mo, Na,Ni,P,Pb,S,Sb,Se, Si,Sr, Ti,Ti,U,V,Zn)	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) PEQ1-5.4-01. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos y matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 30 de Noviembre de 2017.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Fuente: laboratorio regional del agua