

**“UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRION”**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALURGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA**

**PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO METALURGICO**

**APLICACIÓN DE POLÍMEROS NATURALES EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**REYES CALDERON, ELVIS VALERIANO**

**ASESOR:**

**Ing. VICTOR RAUL COCA RAMIREZ**

**CIP 48044**

**HUACHO-PERÚ 2019**

## RESUMEN

En la presente tesis, se ha determinado que el mucílago de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) es un polímero natural que posee características similares a la de los coagulantes sintéticos que se utilizan para el pretratamiento de las aguas ácidas de minas (AAM); se ha logrado extraer el mucílago de la tuna y utilizarlo como coagulante para el tratamiento las AAM en tres proporciones diferentes de AAM y extracto de mucílago. Se ha encontrado que la mejor relación para tratar las AAM es cuando  $R = 1:3$ . Logrando disminuir la acidez de las agua en un 66,47%. Así mismo ha logrado reducir significativamente la concentración de los metales Cu, Fe, Pb y Zn presente en las AAM. Por lo que se ha podido concluir que el mucílago de la tuna es un polímero natural que puede reemplazar a cualquier otro coagulante sintético, por ser de bajo costo, reducir la acidez de las AAM, así como también disminuir la toxicidad de las mismas.

Palabras clave: Aguas ácidas de mina, coagulante, polímero natural, metales pesados.

## SUMMARY

In the present thesis, it has been determined that the mucilage of the cactus (*Opuntia ficusindica*) is a natural polymer that has characteristics similar to that of the synthetic coagulants used for the pretreatment of mine acid waters (MAW); It has been possible to extract the mucilage from the cactus and to use it as a coagulant for the treatment of the MAW in three different proportions of MAW and mucilage extract. It has been found that the best ratio to treat MAW is when  $R = 1: 3$ . Achieving decrease the acidity of water by 66.47%. It has also significantly reduced the concentration of Cu, Fe, Pb and Zn metals present in the MAW. So it has been concluded that the mucilage of the cactus is a natural polymer that can replace any other synthetic coagulant, because it is of low cost, reduce the acidity of the MAW, as well as decrease the toxicity of the same.

Key words: Acid mine water, coagulant, natural polymer, heavy metals.

## INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se planteó encontrar un sustituto natural para los coagulantes químicos, agentes sintéticos que sirven para el pretratamiento de las aguas residuales, durante las etapas de coagulación-floculación, específicamente de las aguas ácida de minas (AAM) que son el resultado de las operaciones de la actividad minera, las que sino son tratadas a tiempo pueden ocasionar graves peligros para el medio ambiente, así como para la salud humana.

Estas AAM deben ser previamente tratadas antes de que vayan a una fuente natural, como son ríos, mar o acuíferos, ya que contienen cantidades significativas de metales que pueden contaminar las fuentes de aguas superficiales o subterráneas, como son los metales pesados, entre ellos podemos mencionar al cobre, hierro, plomo y zinc.

Para el pretratamiento de las AAM se pueden emplear diferentes metodologías para poder solucionar el problema de la contaminación de las fuentes de aguas naturales, entre ellos podemos mencionar a los coagulantes naturales que son una alternativa a los coagulantes de origen sintético o químico.

Se ha encontrado que el mucílago de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) es un polímero natural que tiene una conducta similar a la de los coagulantes sintéticos, con la ventaja de que se puede obtener a bajo costo, no impacta negativamente en el medio ambiente y disminuye la toxicidad de las aguas tratadas.

# CAPITULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACION

### 1.1 Descripción de la Realidad Problemática

En la actualidad toda industria minera que tiene un alto manipuleo del recurso hídrico son las mineras, estando emplea para un sinfín de operaciones a la vez generando en su proceso de excavación altos volúmenes que por un proceso de infiltración interceptan a los acuíferos llenándolos con sus productos generados por este proceso. (Aduviri, 2006, pág. 58)

Ante este hecho el agua es contaminada por estos proyectos mineros cada empresa minera debe tener y contemplar un plan el cual le permite a través de maquinarias procesos otra forma para que puede llegar a controlar estas evacuaciones del líquido elemento empleado por ellos el cual no tiene las características óptimas para que pueda ser enviado directamente a los ríos o acuíferos que se encuentran alrededor de ellos (Aduvire, 2006).

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas, los efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por las actividades mineras son considerados pasivos ambientales, los cuales constituyen un peligro latente para la salud de la población, así mismo del ecosistema que lo rodea. En la Zona alta

de la cuenca del río Huaura existen una gran cantidad de pasivos ambientales los cuales significan un foco de contaminación, principalmente aquellos causados por las aguas ácidas de mina

El principal objetivo del tratamiento de las aguas ácidas es evitar que éstas contaminen las fuentes de aguas superficiales y acuíferos que se encuentran en su entorno, con la finalidad de que ocasionen un peligro para la salud humana o daños inaceptables para el medio ambiente natural. Con la finalidad de obtener agua de buena calidad para el consumo humano es necesario que esté libre de contaminantes, para ello el agua debe pasar por una serie de etapas tales como coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, alcanzándose así después de las tres primeras etapas la clarificación del agua.

Los procesos de coagulación y floculación permiten la remoción de partículas suspendidas y coloidales (turbidez). En el proceso de coagulación generalmente se utilizan sustancias químicas industriales, como el sulfato férrico o sulfato de aluminio, con la finalidad de atrapar a las sustancias coloidales que son las responsables del color y turbidez del agua, estas sustancias sintéticas tienen algunos inconvenientes como que se necesitan una gran cantidad, son difíciles de almacenar, manipular y dosificar y presentan algunos riesgos como que contaminan el medio ambiente y son tóxicos para la salud del ser humano, es por este motivo que se hace necesario buscar alternativas de sustancias naturales para tratar el agua y que mejor que a través de una planta originaria de nuestras regiones andinas como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), siendo una

solución ambientalmente sostenible para el tratamiento de las aguas ácidas de minas (AAM)

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es el proceso obtención y la eficiencia de remoción de metales de un polímero natural como coagulante a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) para el tratamiento de aguas ácidas de minas?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ✦ ¿Cuál es el método para la obtención de polímero natural, como coagulante, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) para el tratamiento de aguas ácidas de minas?
  
- ✦ ¿Cuál será la influencia del polímero natural, como coagulante, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) en las características fisicoquímicas de las aguas ácidas de minas?
  
- ✦ ¿Cuál será la influencia del polímero natural, como coagulante, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) en la reducción de la concentración de los metales Cu, Fe, Pb y Zn presente en las aguas ácidas de minas?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1. Objetivo general

Obtener un polímero natural como coagulante a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) para el tratamiento de aguas ácidas de minas.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el método para la obtención de polímero natural, como coagulante, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) para el tratamiento de aguas ácidas de minas
- Evaluar la influencia del polímero natural, como coagulante, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) en las características fisicoquímicas de las aguas ácidas de minas
- Evaluar la influencia del polímero natural, como coagulante, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) en la reducción de la concentración de los metales Cu, Fe, Pb y Zn presente en las aguas ácidas de minas

## 1.4 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica desde diferentes puntos de vista, principalmente desde el punto de vista social, porque nos permite prevenir y evitar la contaminación de las aguas superficiales y acuíferos que se encuentran cerca del área de operación de las minas, haciendo uso de un material polimérico obtenido a partir de la tuna (*opuntia ficus-indica*) como un coagulante natural, lo que abre la posibilidad de que en estas zonas donde

se encuentran minas en abandono, en las zonas altoandinas de la cuenca del río Huara se pueda utilizar esta metodología.

Es de esta manera que la presente investigación pretende dar un pequeño aporte en la solución del problema de la contaminación debido a la AAM, las cuales presentan en su composición un alto contenido de metales disueltos, tales como el cadmio, cobre, hierro, plomo, zinc, etc.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.4 Antecedentes de la investigación**

Quispe (2012) en su investigación denominada “Aplicación del mucílago extraído del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación de agua del río Uchusuma”, concluyó que: Una alternativa más viable sería el emplear El mucílago Seco obtenido del (*Opuntia ficus-indica*) o también conocido como pencas del nopal, estos tienen un rendimiento promedio 1.44 %, y la manera de obtenerlo por el método de maceración en estado fresco no influye en la calidad del experimento. Experimentación realizada a través de un ensayo de jarras a la cual se empleó dosis de este coagulante natural al 1% y el medio que se empleó fueron turbidez artificiales generadas y parecidas a las de campo. Aplicar un experimento con el coagulante se encontró que en todas las unidades muestrales se obtuvo resultados satisfactorios pero el más eficiente fue la de 1000 NTU. Se debe tener en cuenta que para procesar los resultados se requiere medir la influencia del murciélago en la turbidez inicial. (Quispe, 2012)

Torres (2017) en su investigación “Análisis del coagulante natural *Opuntia ficus* con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca” llegó a concluir que: Estos autores llegaron a encontrar que la manera más adecuada para obtener coagulante natural de esta penca es mediante una metodología en donde se hace reposar Trozos de la penca en agua caliente, el cual es un método muy empírico pero que no genera gastos dentro del

procesamiento, también llegaron a encontrar que al aplicar Esta técnica en el líquido elemento se puede evidenciar que el pH está adecuadamente aceptable según los reglamentos y estamentos que tenemos en nuestro entorno, concluyeron que desde la visión social y económico tiene un futuro prometedor, ya que no incurre en gastos innecesarios para poder ponerla en marcha. (Torres, 2017)

Ramírez (2013) en su investigación titulada “Estudio técnico del tratamiento de aguas ácidas” llegó a las siguientes conclusiones: Este autor llegó a concluir que qué es posible neutralizar la formación de aguas ácidas mediante la composición química del mineral que predomina más específicamente en sus niveles de sulfuro y óxidos. Para el volumen de agua de mina propuesto se hacen los cálculos respectivos de la masa de hidróxido de calcio total, la masa de todos los hidróxidos formados y la masa de sulfato de calcio generado por la precipitación de las sales. Para que se Determine el agua de Mina en su volumen se hacen diversos cálculos uno del hidróxido de calcio total, segundo el hidróxido formado de la masa total de sulfato de calcio. Esta investigación se desarrolló un programa de cálculo donde se ingresa el volumen generado de agua de mina y su pH inicial considerando también su composición química los cuales permiten realizar los diversos cálculos que se mencionó con anterioridad, se llega si llegó concluir que debe tener en cuenta las pérdidas de agua por el exceso de sólidos es por ello que se debe reponer aproximadamente 20 ml. De agua por cada litro de agua tratada o procesada. (Ramirez, 2013)

Ordoñez (1999) en su investigación denominada “Sistemas de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina, experiencias de laboratorio, diseño y ejecución” determinó: Que para que exista un mejoramiento dentro de la reducción de sulfatos se debe proponer un diseño de humedales el cual debe estar construido empleando diversas celdas de tratamiento que tendría como materia prima inicial compost de sustrato orgánico, si el agua tratada tenga altas concentraciones de manganeso éste podrá llegar a ser reducido al momento que pasa por un canal de cáliz o aeróbico, además aunado a esto existen bacterias denominada cianobacterias que pueden ayudar a reducir también este elemento, al realizar su ejecución de este sistema a escala de laboratorio se corrobora que es viable el realizar este tipo de tratamiento, siempre y cuando no se excedan los límites permitidos de acuerdo a normas, ya que al exceder estos parámetros en sistema no puede cumplir con su labor.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1. Aguas Ácidas**

Son todo tipo de agua en las cuales tienen altas concentraciones de sulfatos, éstas presentan un elevado nivel de metales pesados y un pH menor a 7, a qué se debe tener presente una relación que hay entre el dióxido de carbono y el ión bicarbonato, ya que éstos afectan directamente al pH Y cuál más elevado es su relación en la acidez del agua será más elevada (Ramírez, 2013).

Son generados principalmente por explotaciones de Carbón, sulfuros metálicos o de uranio, esto se da cuando el compuesto que los albergaba queda expuesto directamente y se da un proceso de

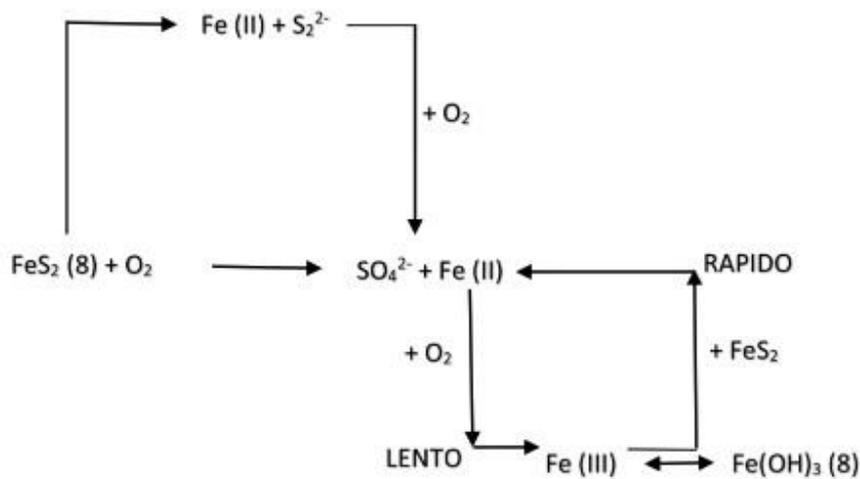
meteorización lo cual sería uno de los principales causantes de la contaminación de aguas ocasionadas por la industria minera para que se dé esta acción principalmente se requiere que el medio se aeróbico y a la vez que otros factores sean de buenas condiciones para que se pueda dar este proceso, el agua ácida es un problema a nivel mundial debido a que es altamente corrosivo, sus efectos van directamente relacionados al aumento de costos para mantenimiento y Los costos que tendrían que desviarse de la contaminación ambiental que realiza (Ramírez, 2013).

### **Mecanismos de formación de aguas ácidas**

Las aguas ácidas tienen una formación a partir de los sulfuros que muchos casos se aceleran este proceso a través o por causa de bacterias, los principales elementos son sulfuros reactivos, oxígeno, el agua en cualquiera de sus estadios de un catalizador que vendrían a ser las bacterias (Aduvire, 2006).

La forma en Cómo reaccione tanto velos o lenta va a depender del efecto que puede generar el ambiente, pero sin embargo si el proceso es muy rápido ocasionará problemas de contaminación en todo el entorno ambiental (Medina, 2018). (Medina, 2018)

Se debe tener presente que todas las especies mineralógicas no son iguales y algunas se activan mucho más rápidos que otras para poder generar aguas hacia lo cual se debe tener en cuenta ya que es un efecto contaminante muy nocivo (Medina, 2018).



**Figura 2. Formación de aguas ácidas de mina.**

- Al estar presente el agua todo esta reacción se activa dando por inició el proceso de oxidación, se forma primero Unión sulfato sea por vía rápida o lenta va a depender de Qué cantidad de oxígeno disuelto exista si es que hay una mayor cantidad de oxígeno la reacción va a ser mucho más veloz.

#### Etapas en la formación ácida

Todo este proceso iniciado por el drenaje que hay de las minas a raíz de todas las operaciones que se dan estos procesos degradan el sistema ambiental, en mucho de los casos llegan hasta extinguir casi en su totalidad la vida acuática, estas aguas son imposibles de ser empleadas para el consumo humano debido a la alta es acidez y a las altas concentraciones de metálicos resueltos, otra observación es que no sólo afecta al medio ambiente como para que la Minera

se desentienda sino que también le afecta a ella dañando sus estructuras metálicas..

Una forma de evitar la formación de aguas ácidas es la neutralización de las mismas, en este sentido la oxidación de una tonelada de pirita produce casi una tonelada de hidróxido férrico y cerca de tonelada y media de ácido sulfúrico.

La forma más viable de poder evitar estos procesos es a través de un proceso de neutralización, la formación de las aguas ácidas es:

En una etapa inicial de oxidación de minerales de sulfuros, se debe tener en cuenta que la acidez es un proceso natural que siempre va a existir en nuestra naturaleza, pero pues sí es producida lentamente el medio ambiente va a poder neutralizar la, pero si se produce en mayor cantidad en el ambiente natural no va a poder realizar este proceso y Por ende se generaría una contaminación ambiental muy letal.

Acidez que se acumula es lo que sucede en segundo lugar en este proceso ya que al superar la capacidad de neutralizar que tiene el medio ambiente el pH desciende y se da una oxidación ocasionada por las bacterias en este proceso se transforma a un sulfato férrico, y este al entrar en contacto con el agua da lugar a dos compuestos uno el ácido sulfúrico y segundo el ácido férrico que son muy difíciles de diluir y que provoca una coloración amarillenta en las aguas.

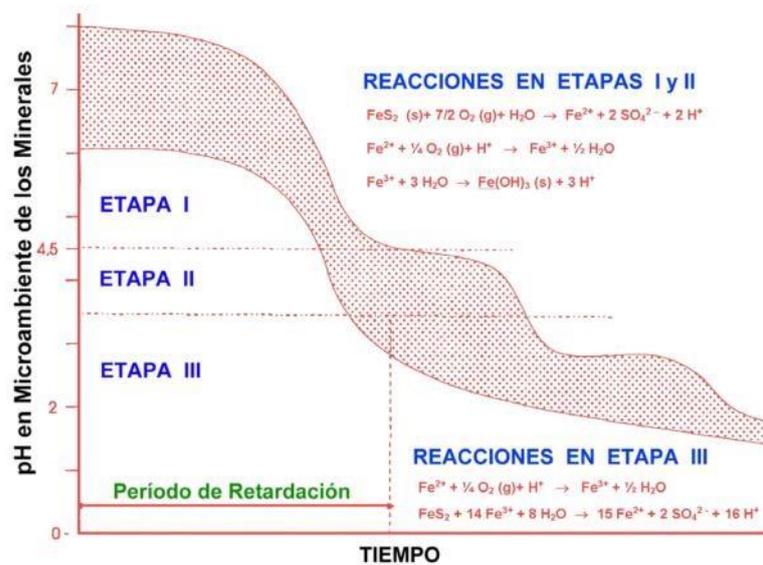


Figura 3. Etapas en la formación de aguas ácidas

En una tercera etapa el pH desciende por debajo de 3 ion férrico es el que se ve inicialmente afectado al existir las reacciones de oxidación y reducción y sumado a ello la acción bacteriana, todos ellos llegan a lixiviar el sulfuro de hierro y lo pasa a sulfato, todo ello ocasiona que se generen más ácido que eleva y desnaturaliza la composición del agua. Es muy importante que se tenga en cuenta que debe disminuirse a las bacterias que ocasionan que se incremente el nivel de ácido, se debe tener en cuenta los niveles de pH, los cuales son muy importantes dentro de todo este proceso.

### Caracterización de las aguas ácidas de mina

Las aguas que se generan por todos los procesos mineros deben ser clasificadas y caracterizadas al caracterizar un agua ácida se debe seleccionar los dispositivos operacionales para que ayuden a neutralizar todos ellos, un dato muy importante es poder medir el caudal y conocer los parámetros

químicos para así poder llevar a cabo el proceso de neutralización (Hyman y Watzlaf, 1995).

Los diversos autores que han realizado estas investigaciones han tenido en consideración que se debe hacer un balance iónico correcto y que se debe tener un registro durante mínimamente todo un año hidrológico para poder saber los distintos cambios en caudal y composición del cuerpo de agua (Ramirez, 2013).

**acidez/alcalinidad neta = acidez total-alcalinidad total**

Al hablar de acidez total se puede interpretar o es una equivalente el decir que es el nivel de concentración de iones de hidrógeno es libres, cuando estos iones pueden obtenerse a través de un proceso de oxidación e hidrólisis de metales a través de una reacción química:



Al llevar a la práctica lo que se puede medir observar o planificar en laboratorio sobre acidez neta y alcalinidad total, la acidez puede ser reducida mediante la ecuación planteada anteriormente, ambas tanto la acidez como la alcalinidad pueden ser medidas como equivalencia al  $\text{CaCO}_3$ . Generalmente la acidez que es analizada o medida en laboratorios representa a la acidez neta (Ramirez, 2013).

Tabla 2.1: Clasificación de los drenajes de mina

Sub	Descripción	Rango de acidez o alcalinidad
<b>Categorías</b>		
1	Muy ácido	Acidez neta $>300\text{mg/L}$ como $\text{CaCO}_3$ equivalente
2	Modernamente ácido	$100 \leq \text{Acidez neta} \leq 300\text{mg/L}$ como $\text{CaCO}_3$
3	Débilmente ácido	$0 \leq \text{Acidez neta} < 100\text{mg/L}$ como $\text{CaCO}_3$
4	Débilmente alcalino	Alcalinidad neta $<80\text{mg/L}$ como $\text{CaCO}_3$
5	Fuertemente alcalino	Alcalinidad neta $\geq 80\text{mg/L}$ como $\text{CaCO}_3$

### La tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Esta planta tiene una distribución en América, siendo el país de México es que presenta una mayor abundancia de esta especie, esta especie puede estar distribuida en diversos ambientes desde costas del mar Hasta los más altos andes. (Quispe, 2012).

En el Perú El origen de esta planta puede estar determinada por la cochinilla, (*Dactylopius* spp.). Este es un insecto cuya hembra ha ido evolucionando su morfología hasta adaptarse completamente para poder alimentarse de estos cactus, según diversos estudios Se podría decir que es una especie que solamente se encuentra en el continente americano y que a la vez fue empleado para poder hacer teñido de fibras y tejidos en las antiguas culturas.



**Figura N° 2.3.** Tuna (*opuntia ficus-indica*)

(<https://animalesyplantasdeperu.blogspot.com>, 2009)

#### Origen y taxonomía de la tuna

“Las cuevas de Pachamachay es un lugar en el Perú donde se encontraron los primeros restos de semillas cercanos al lago Junín a una altitud de 4200 msnm. La antigüedad de dichas semillas era aproximadamente de 11,800 años” (Torres C., 2017, p.45).

Reino	: vegetal
División	: Angiospermae
Clase	: Dicotyledonea
Orden	: Cayophyllales
Familia	: Cactácea
Subfamilia	: Opuntioideae

Género : Opuntia Nopalea

Tribu : Opuntiae

Especie : Ficus- indica

**Características de la planta de la tuna** (Gerencia Regional Agraria de la Libertad, 2009)

Tiene una altura de 3 a 5 m es un vegetal arborescente, el tronco es leñoso y mide entre 20 a 50 cm de diámetro. Tiene ramas aplanadas con los cuales pueden realizar la función de la fotosíntesis y de almacenamiento de agua dentro de sus tejidos conectivos.

Los Cladodios Vienen a ser las pencas de 30 a 60 cm de largo entre 20 a 40 cm de ancho y un espesor de 2 a 3 cm son las encargadas de realizar la fotosíntesis la cutícula con tiempo se evita la deshidratación en épocas de intenso calor es característico que tanto tallos y pencas contengan espinas.

Las hojas son cladodios internos, tiene la característica de que estas hojas desaparecen al nacimiento de las pencas cuando haya tenido un grado de desarrollo alto y en cuyo lugar de estas quedan las espinas, en ellas se posan espinas transformadas en forma de garras que sirven como medio de defensa.

**Flores.** - Las flores se pueden localizar en la parte superior de la penca tienen entre 6 a 7 cm de longitud las flores llegan a abrirse entre los 35 a 40 días después de haber brotado, los colores que caracterizan sus pétalos van desde el color amarillo, anaranjado, rojo y rosa.

**Fruto.** - Es una baya de color verde, y conforme madura va tomando diversas coloraciones, su sabor Es agradable y son comestibles.

### **El mucílago de la tuna (*Opuntia ficus-indica*)**

El mucílago de *Opuntia ficus-indica* es una sustancia espesa y gomosa que proporciona la capacidad natural del cactus para almacenar grandes cantidades de agua. Cuando está en el agua, el mucílago se hincha, produciendo propiedades únicas de actividad superficial que se ven en muchas encías naturales, lo que confiere al mucílago una capacidad sospechosa de precipitar partículas e iones de soluciones acuosas. El mucílago se extrae de las almohadillas del cactus. Los cladodios de nopal en dados se han utilizado durante siglos en América Latina como una tecnología primitiva para la rápida floculación de las turbias aguas de manantial natural, pero nunca se ha proporcionado una línea de base científica para este fenómeno observado.

### **Composición**

El mucílago de *Opuntia ficus-indica* está compuesto por 55 residuos de azúcar, incluida la arabinosa, ramnosa galactosa y xilosa, y algunos, específicamente el cv de Spineless de Burbank, muestran fracciones de glucanos y glicoproteínas. El mucílago de *Opuntia ficus-indica* ha sido fuente de cierta confusión entre los investigadores.

El peso molecular del mucílago ha sido reportado como valores diferentes, probablemente también debido a las diferencias en las técnicas de extracción y la posibilidad de contaminantes. En 1981 Trachtenberg y Mayer informaron que el mucílago de las pencas de *Opuntia ficus-indica* este compuesto por 24,6 -42,0% de arabinosa, 21-40,1% de galactosa, 8,0-12,7%

de ácido galacturónico, 7,0-13,1% de ramnosa, 22,0-22,2% de xilosa y un peso molecular de  $4,3 \cdot 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ . Pero un estudio realizado por Cárdenas et al. en 1997 informó un valor de  $3 \cdot 10^6 \text{ g mol}^{-1}$  y en 2000. Medina-Tones et al. informaron  $2,3 \cdot 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ . (Quispe, 2012)

En 2001, Madjoub et al. aislaron dos fracciones de mucílago separadas, denominando a una "muestra de alto peso (HWS) con un peso molecular de  $13 \cdot 10^6 \text{ g mol}^{-1}$  y a la otra como " muestra de bajo peso "(LWS) con un peso molecular de  $3,9 \cdot 10^3 \text{ g mol}^{-1}$ , se determinó que el HWS representa aproximadamente el 10% del contenido total de mucílago y estaba exento de proteínas. Contenía alrededor del 20% de azúcar cargada [56], lo que lleva a la posibilidad de su potencial para interactuar con cationes divalentes [45]. Los azúcares detectados en el HWS fueron los mismos que se informaron anteriormente en la literatura y en esta tesis.

Se determinó que el LWS de Madjoub estaba compuesto en su mayoría (-80%) de proteínas con una composición de nitrógeno del 2,2%. Ayudando a confirmar la presencia de glicoproteínas en el mucílago.

## **Coagulación y floculación**

### **Coagulación**

Es un proceso en el cual se busca desestabilizar a través de procesos químicos las partículas químicas para así poder separarlos a través de la acción de un coagulante y el mezclado. Es uno de los tratamientos considerados más eficaces pero que a la vez representa uno de los más caros. (Cardenas, 2000).

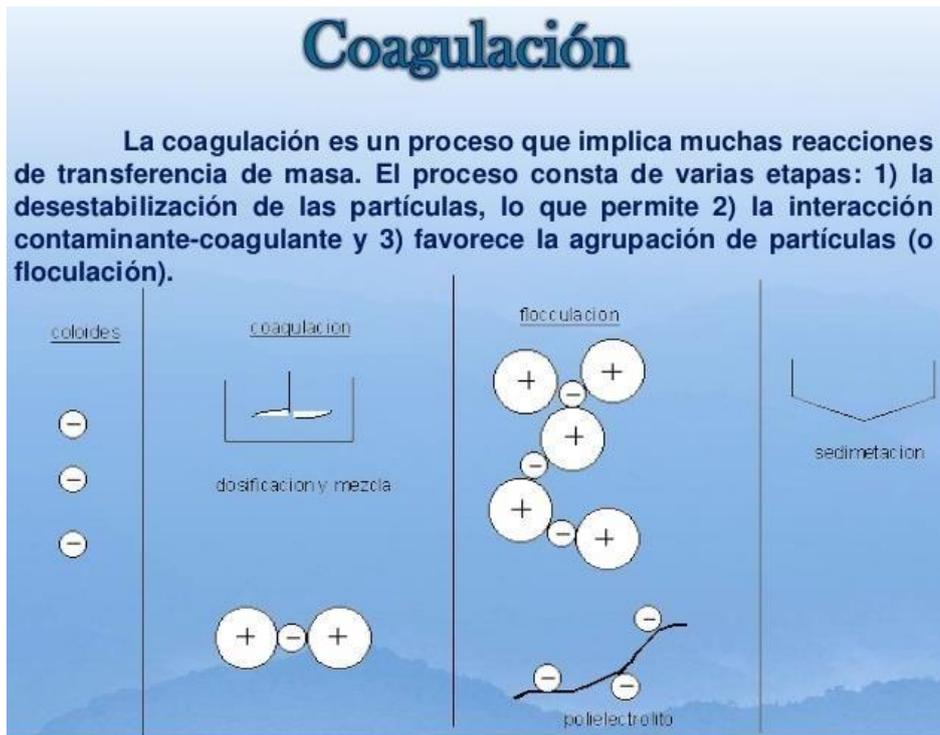


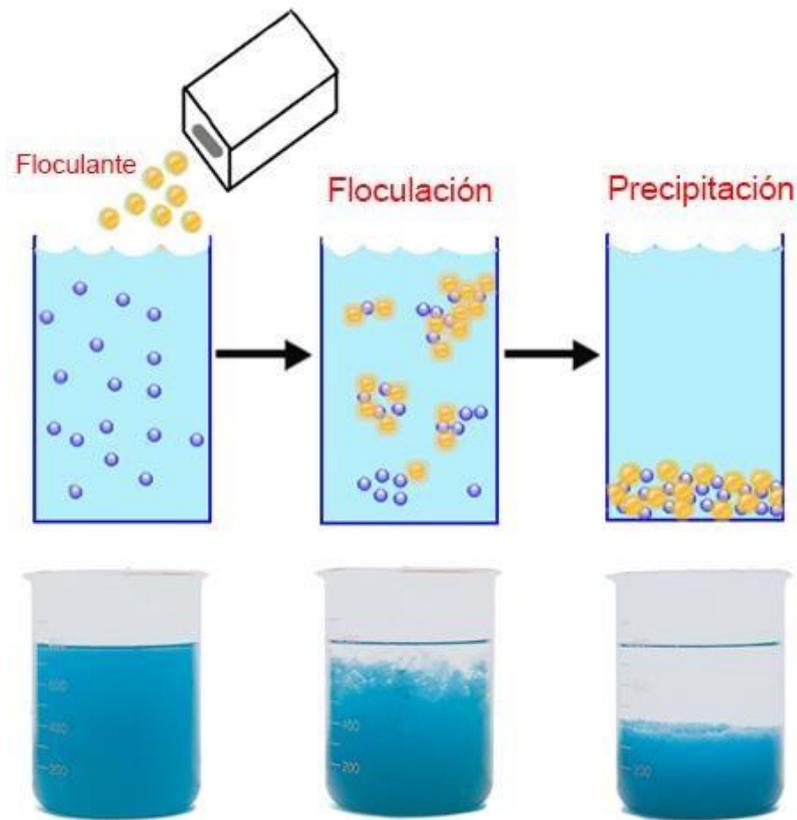
Figura N° 2.4. Imagen del proceso de coagulación (image.slidesharecdn.com)

Todo proceso de coagulación que no llegue a un éxito o que en su proceso haya sido no controlado puede llegar a Conducir a la rápida degradación del recurso hídrico, por lo tanto es de imperativa necesidad que se tenga en consideración la dosis óptima de la adición del coagulante, ya que si éste es en exceso o deficiente no va a poder tener o cumplir la finalidad que se le exige.

### **Floculación**

Es el proceso en el cual se aglutina todas las sustancias coloidales lo cual facilita una decantación o eliminación de las sustancias no deseadas es el segundo proceso después de la coagulación (Pantoja, 2012).

Este proceso consiste en la quitar la masa que ya ha sido coagulada para que se una formando flóculos para que se sedimente (Cardenas, 2000).



**Figura N° .2.5 Imagen del proceso de floculación (<https://iquimicas.com/>)**

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

Sucede que los floculos muchas veces no se sedimentan muy rápidamente por lo que se hace necesario el emplear un floculante. El proceso de floculación se favorece al realizarle un mezclado lento que permite irlos contando poco a poco, esta floculación es mejorada Generalmente por la aplicación de algún reactivo floculante.

#### **2.2.4. Coagulantes**

## Polímeros

Los polímeros son sustancias químicas compuestas por monoceros. La policondensación para la formación de polímeros depende del ambiente natural de las moléculas que interaccionan entre sí, todo tipo de monómero es capaz de dar lugar a un polímero cuando las cadenas de polímeros contienen diferentes grupo iónicos funcionales se les denomina polielectrolitos (Torres, 2017).

### 2.3. Definiciones Conceptuales

- a. **Aguas residuales (o Aguas negras).** - Son las aguas provenientes de poblaciones las cuales en Su contenido contienen materia orgánica y otros componentes tóxicos o nocivos, también están dentro de estas aguas las aguas provenientes de la Industria.
  
- b. **Ácido Galacturónico.**- Compuesto químico que es parte formador del ácido urónico es una pectina en las frutas, su uso en principalmente es para poder dar tratamientos antihemorrágicos.
  
- c. **Arabinosa.**- Monosacárido formado por cinco átomos de carbono, se le denomina L-arabinosa.
  
- d. **Coagulación**- Es un proceso en el cual se busca desestabilizar a través de procesos químicos las partículas químicas para así poder separarlos a

través de la visión de un coagulante y el mezclado. Es uno de los tratamientos considerados más eficaces pero que a la vez representa uno de los más caros.

- e. **Flóculo.** - Es el conjunto de partículas conglomeradas en una formación más grande, es un compuesto que no es posible diluirlo y que permite una mejor sedimentación de los compuestos a retirar.
  
- f. **Floculación.**- Es el proceso en el cual se aglutina todas las sustancias coloidales lo cual facilita una decantación o eliminación de las sustancias no deseadas es el segundo proceso después de la coagulación.
  
- g. **Mucilago.** - Son sustancias vegetales viscosas coagulables con el alcohol son gomas que ayudan a poder aumentar el nivel de viscosidad, también pueden llegar a formar una pseudogelatinización.
  
- h. **Temperatura:** Medida empleada para poder determinar el nivel térmico de alguna sustancia u objeto que se quiere medir, tiene una escala numérica para poder ver en qué nivel se encuentra.
  
- i. **Turbidez o turbiedad:** Es la forma de poder expresar la cantidad de sólidos que se encuentran presentes en un cuerpo de agua el cual puede ser medido a través de la absorción de luz del fondo del agua, esto quiere decir qué tan profundo llegan los rayos solares dentro de un cuerpo de agua.

## 2.4. Formulación de Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

Es posible obtener un polímero natural, como coagulante orgánico, a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) para el tratamiento y remoción de metales de las aguas ácidas de minas.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- ✦ La obtención de un polímero natural a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) se puede emplear como coagulante para el tratamiento de aguas ácidas de minas
- ✦ El polímero natural a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) influye positivamente en las características fisicoquímicas de las aguas ácidas de minas.
- ✦ El polímero natural a base de tuna (*opuntia ficus-indica*) influye positivamente en la remoción de los metales Cu, Fe, Pb y Zn presentes en las aguas ácidas de minas.

## CAPÍTULO III METODOLOGIA

### 3.1. Diseño Metodológico

El presente estudio por su naturaleza es experimental, porque se realizarán pruebas para extraer el mucílago de la tuna "*Opuntia ficus-indica*" y utilizarlo como un coagulante natural que sirva para poder disminuir la concentración de los metales presentes en las aguas ácidas de mina.

El presente trabajo se desarrolló en tres etapas:

Etapa 1: Extracción del mucílago de la tuna:

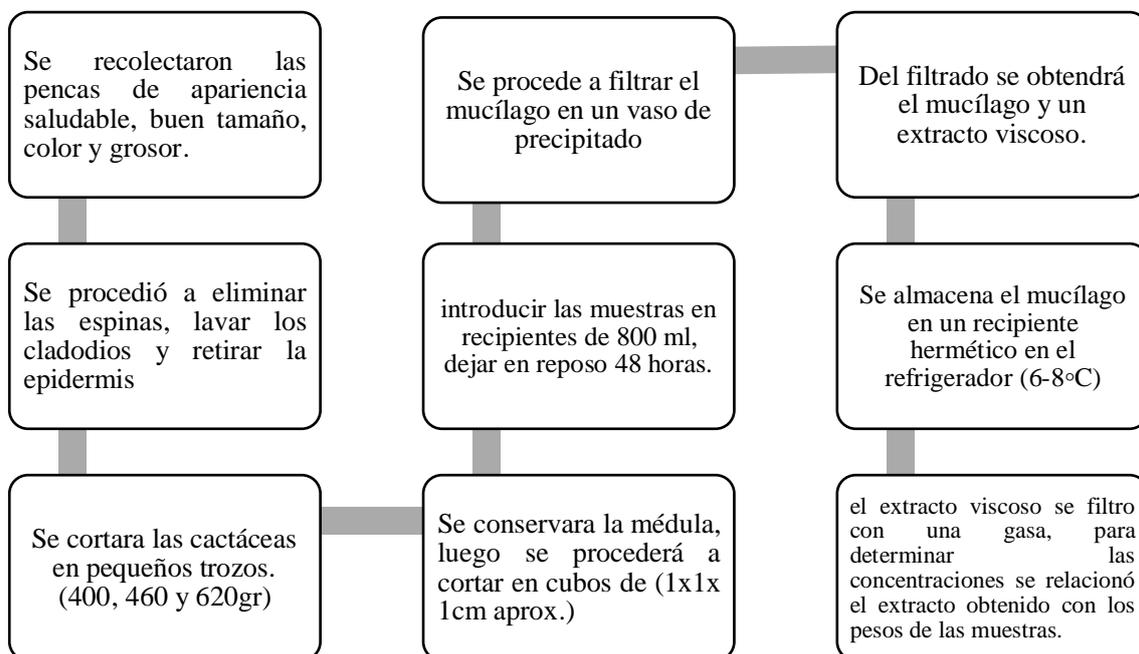
Las pencas de tuna "*Opuntia ficus-indica*" fueron recolectadas de la Campaña de

Huacho. Para su recolección se tomo en cuenta las siguientes cualidades físicas: apariencia saludable, color, tamaño y grosor.

Una vez recolectadas se procedió al lavado y retirar la mayor cantidad de espinas, seguidamente se retira la epidermis, se corta las cactáceas en pequeños trozos, se reserva la médula que sera trozada en cubos (1cm de ancho por 1cm de largo por 1 cm de espesor) hasta obtener masas de 500g aproximadamente, divididas en tres porciones.

Luego se introducen las muestras en recipientes con agua, 800ml cada uno, se deja reposar 48 horas. Después de transcurrido este periodo se procederá a filtrar el mucílago en un recipiente de vidrio hermético para ser almacenado en el refrigerador a una temperatura entre 6-8 °C , y se mantendrá en estas condiciones hasta el llevar a cabo la etapa experimental.

A continuación se puede observar en un esquema los pasos seguidos para la obtención del mucílago:



Etapa 2: Recolección de las muestras de aguas ácidas de mina.

Se recolectaron las muestras de agua ácida tomadas de las cercanías de la Quebrada de Parag, zona perteneciente a la cuenca del río Huaura, en donde se tiene conocimiento que existen pasivos ambientales e instalaciones mineras abandonadas.

Se determinaron in situ los parámetros fisicoquímicos: temperatura (T), pH,

Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto (O.D.) y Sólidos Disueltos Totales

(S.D.T.). Así mismo las muestras de agua se recolectaron siguiendo el

### **Protocolo**

**Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales** de la ANA, para que sean analizadas y se determinen la cantidad de Cu, Fe, Pb y Zn presente en las muestras.

### Etapa 3. Evaluación del efecto del mucílago en las AAM

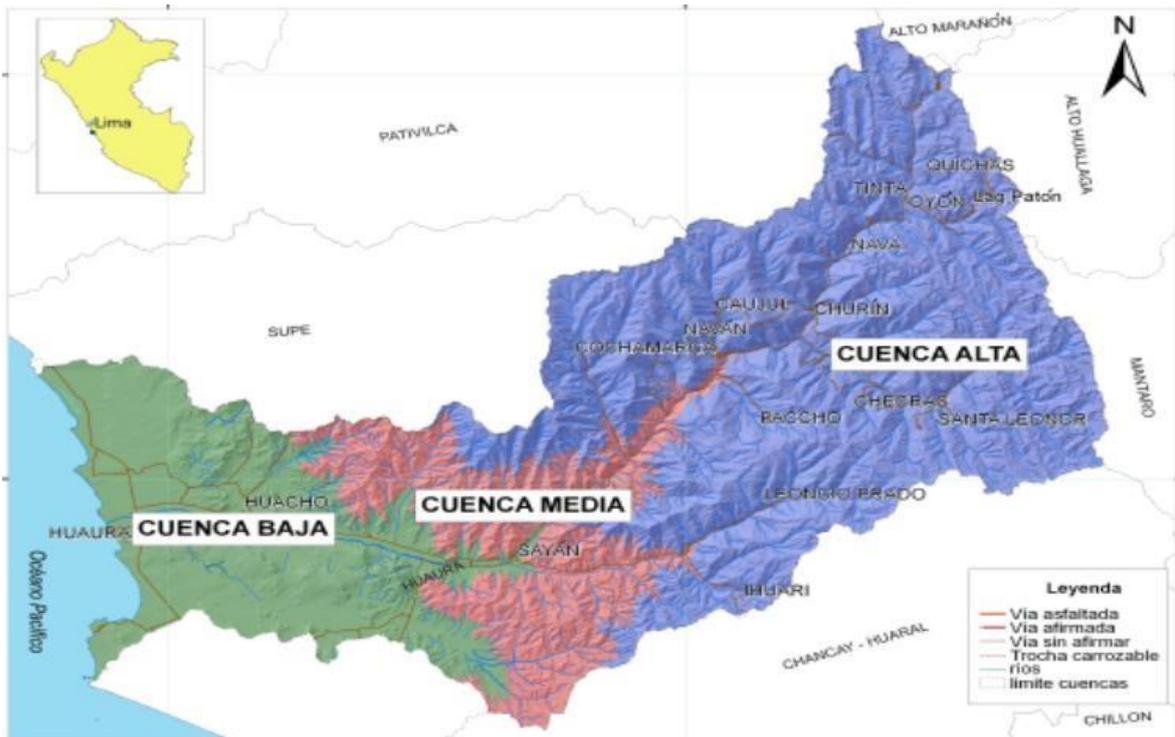
En esta etapa se determinó la influencia del mucílago de "*Opuntia ficus-indica*" en las aguas ácidas de mina, respecto a la remoción de los metales presentes en estas aguas ácidas, así como también como influye en los parámetros fisicoquímicos.

Para determinar la influencia se prepararon tres muestras de extracto de mucílago en las siguientes relaciones en volumen de Agua:Extracto: 3:1 (tres partes de agua por una de extracto de mucílago), 2:2 y 1:3. Cada una de las muestras con un volumen de 800 mL.

## **3.2. Población y Muestra**

### **3.2.1. Población**

Conformada por las aguas ácidas de mina de la Quebrada de Parag, ubicada en las cercanías de la cuenca alta del río Huaura.



**Figura N° 3.1. Mapa de la ubicación de la cuenca del río Huaura, por sectores.**

(Geodinámica e Ingeniería Geológica, página 8)

### 3.2.2. Muestra

Constituida por cuatro muestras de un litro cada una de las AAM, las que se han tomado de la Quebrada de Parag.



Figura N° 3.2. Quebrada de Parag. (**Geodinámica e Ingeniería Geológica**)

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

La técnica para la recolección de los datos será por observación directa e información documental. Los instrumentos de para la obtención de los datos se basan en las normas técnicas y Reglamentos vigentes para el tratamiento de aguas acidas.

Las técnicas usadas para la recolección de datos serán:

- Observación
- Documental
- Experimental
- Análisis

### **3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.**

Para el procesamiento de la información, así como para facilitar su posterior análisis de los datos, se utilizarán Software y programas específicos, tales como el

Microsoft Excel y el INFOSTAT.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización Físicoquímica de la muestra a tratar

En la tabla siguiente se presentan los resultados estadísticos de las pruebas de campo realizadas a la muestra tomada de la Quebrada de Parag. Estos parámetros fueron tomados in situ. El procedimiento seguido para el muestreo se realizó tomando en cuenta el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, publicado por la ANA. Para la medida de los parámetros físicoquímicos se han utilizado un medidor multiparámetro HANNA HI9829 y el medidor FISCHER SCIENTIFIC accumet XL200.

**Tabla N° 4.1. Parámetros físicoquímicos del agua ácida.**

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
T, °C	3	11.600	0.000	11.600	11.600
pH	3	4.107	0.006	4.100	4.110
C.E., uS/cm	3	420.967	0.153	420.800	421.100
O.D., mg/L	3	7.087	0.012	7.080	7.100
S.D.T., mg/L	3	532.000	1.000	531.000	533.000

Fuente: InfoStat v.2018

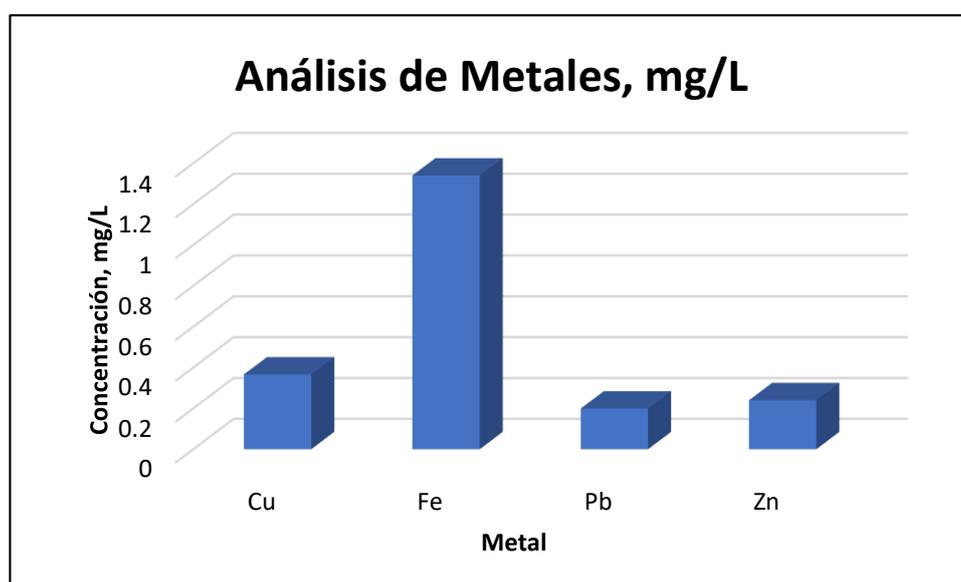
A continuación, se presentan los resultados estadísticos de los análisis de laboratorio para las muestras de AAM cruda para determinar la concentración de metales (Cu, Fe, Pb y Zn) presentes. El método analítico empleado ha sido el ICP-

Masas, en un laboratorio acreditado por INACAL.

**Tabla N° 4.2. Análisis químico del agua ácida.**

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Cu, mg/L	3	0.3660	0.0429	0.3170	0.3970
Fe, mg/L	3	1.3400	0.1217	1.2600	1.4800
Pb, mg/L	3	0.1990	0.0185	0.1850	0.2200
Zn, mg/L	3	0.2397	0.0057	0.2350	0.2460

Fuente: InfoStat v.2018



**Figura 4.1. Análisis químico del AAM sin tratar**

#### **4.2. Parámetros fisicoquímicos de la muestra tratada**

Los resultados de las muestras tratadas con el extracto de mucílago se muestran a continuación:

- Resultados para el AAM tratada con el extracto para una relación, R, Agua:extracto de 3:1 (600 mL de agua y 200 mL de extracto),

Agua:extracto de 1:1 (400 mL de agua y 400 mL de extracto) y

Agua:extracto de 1:3 (200 mL de agua y 600 mL de extracto)

Tabla N° 4.3. Parámetros fisicoquímicos del agua tratada diferentes

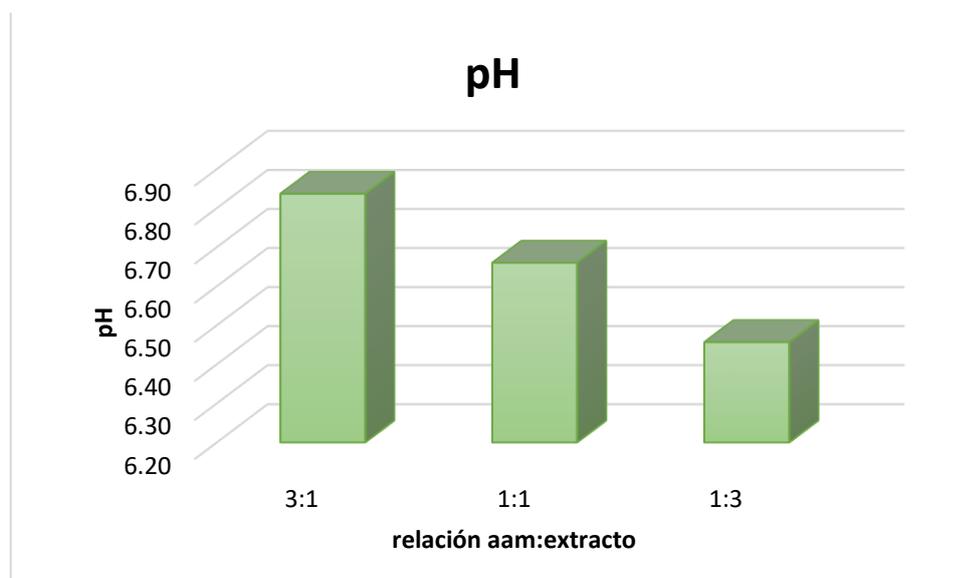
R

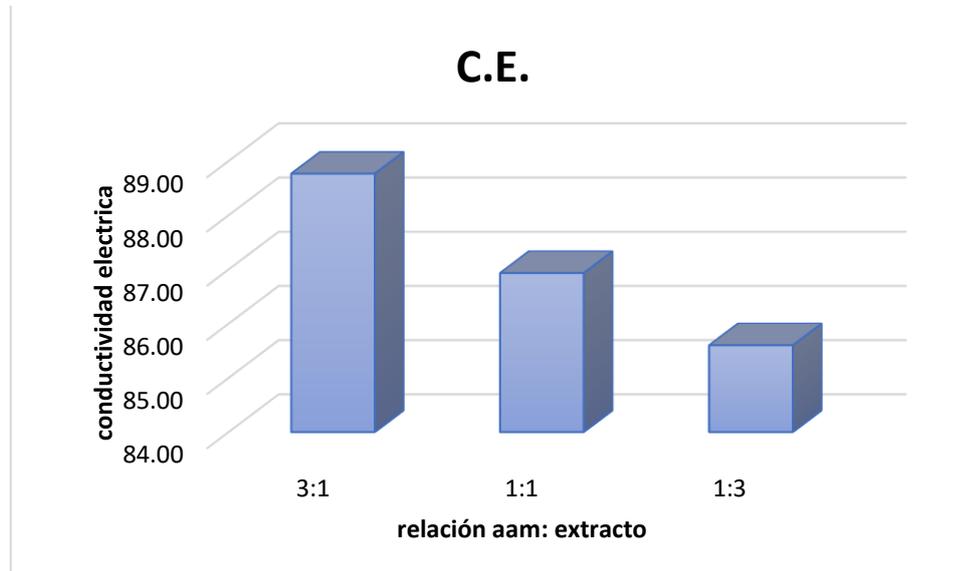
Variable	n	R = 3:1	R = 1:1	R = 1:3	ECA(*)	ECA(**)
T, °C	3	20.600	20.600	20.600		
pH	3	6.837	6.660	6.457	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
C.E., uS/cm	3	88.767	86.933	85.600	< 2000	< = 5000
O.D., mg/L	3	6.413	6.427	6.437	> = 4	> 5
S.D.T., mg/L	3	280.500	277.933	274.167	--	--

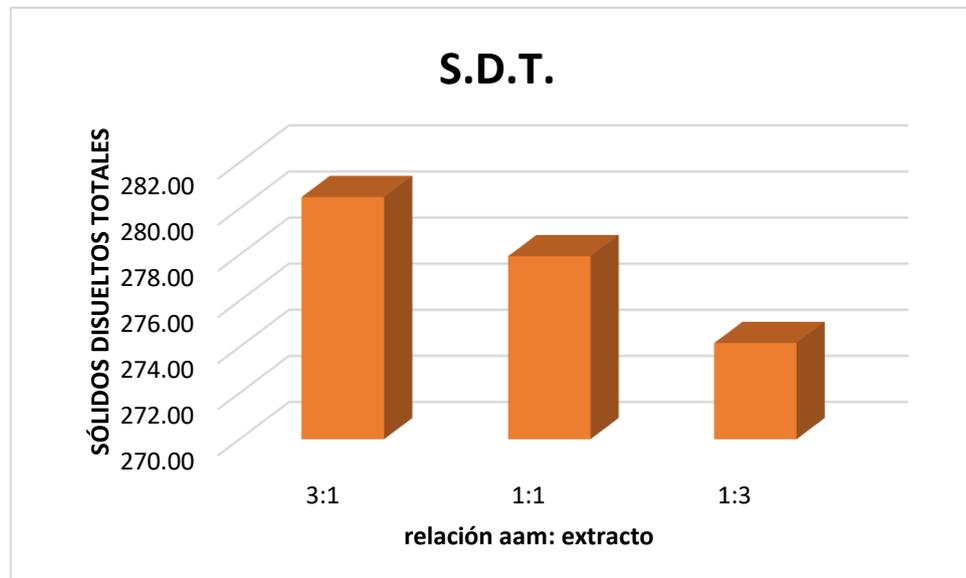
Fuente: InfoStat v.2018

(\*) ECA del agua para riego de vegetales

(\*\*)ECA del agua para bebidas de animales



**Figura N° 4.2. pH del AAM con el extracto de mucílago****Figura N° 4.3. C.E. del AAM con el extracto de mucílago**

**Figura N° 4.4. O.D. del AAM con el extracto de mucílago****Figura N° 4.5. S.D.T. del AAM con el extracto de mucílago**

### 4.3. Análisis químico de la muestra tratada

Igualmente se procedió con las muestras de AAM tratadas con el extracto de mucílago para las diferentes relaciones agua:extracto, obteniéndose los siguientes resultados

Tabla N° 4.4. Análisis químico del agua tratada

Variable	n	R = 3:1	R = 1:1	R = 1:3	LMP
Cu, mg/L	3	0.1927	0.2342	0.1776	0.5
Fe, mg/L	3	0.3274	0.2663	0.2023	2
Pb, mg/L	3	0.1313	0.1056	0.0992	0.2
Zn, mg/L	3	0.1646	0.151	0.1459	1.5

A continuación, se muestra la concentración de los metales cobre, hierro, plomo y zinc, en el AAM tratada con el extracto de mucílago para las diferentes relaciones de Agua:Extracto:

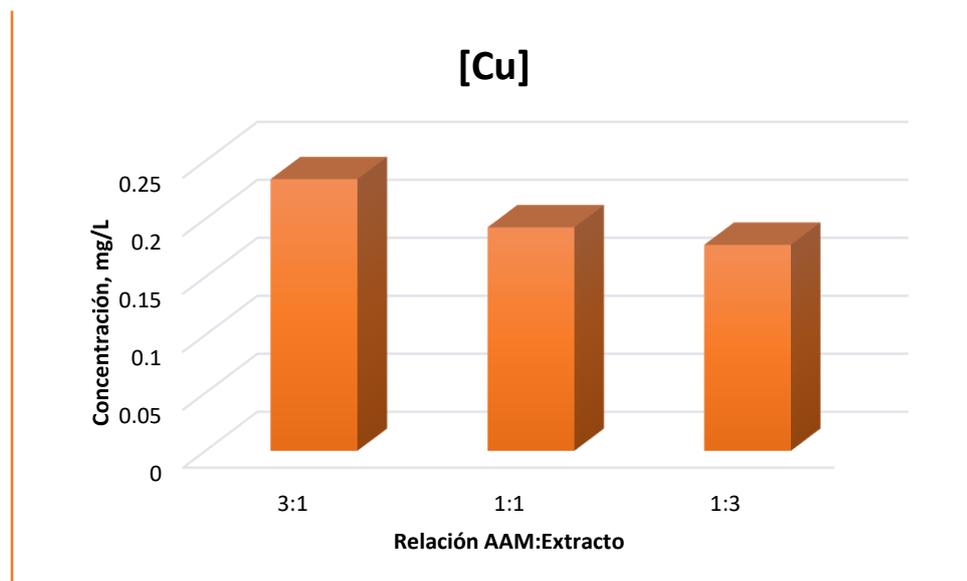


Figura N° 4.6. Concentración del Cu en el AAM tratada con el extracto de mucílago

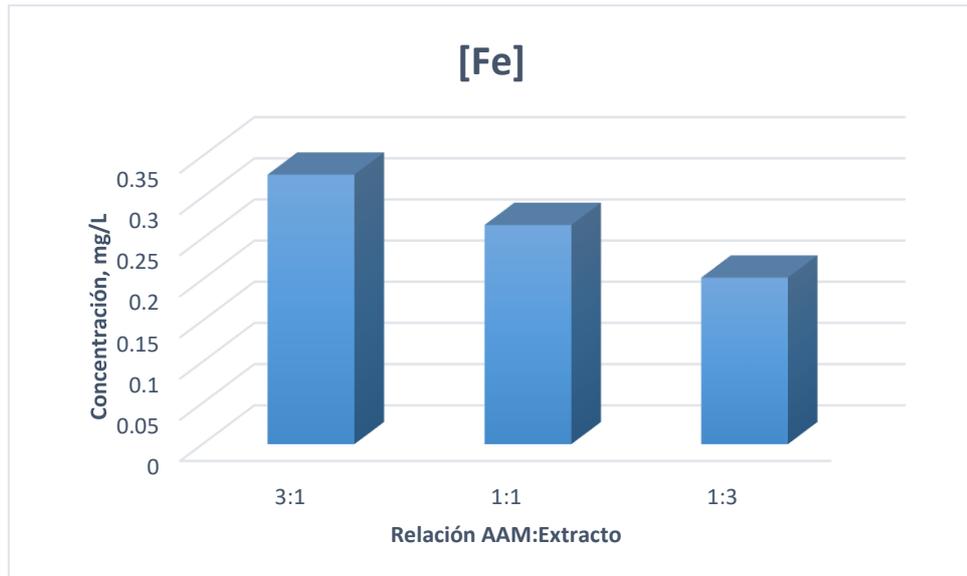


Figura N° 4.7. Concentración del Fe en el AAM tratada con el extracto de mucílago

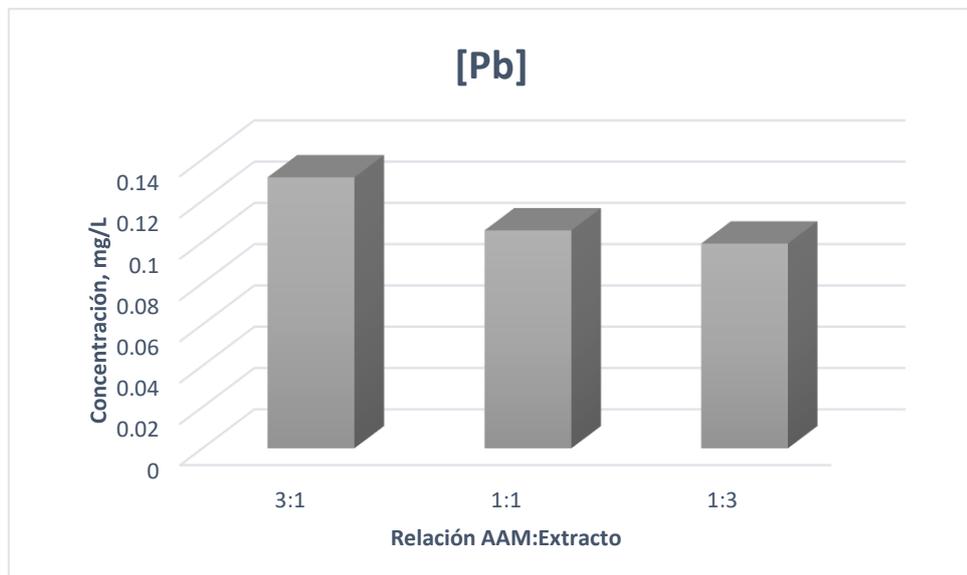


Figura N° 4.8. Concentración del Pb en el AAM tratada con el extracto de mucílago

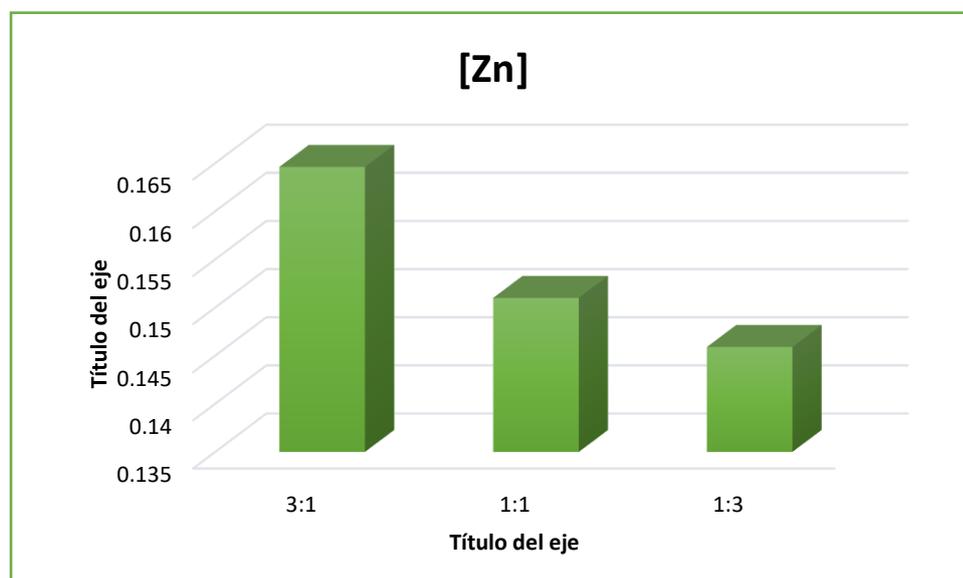


Figura N° 4.9. Concentración del Zn en el AAM tratada con el extracto de mucílago

A continuación se presenta tablas comparativas de los parámetros fisicoquímicos y de los análisis químicos de las AAM entre las aguas sin tratar y las aguas con extracto de mucílago:

Tabla N° 4.5. Resumen de los parámetros fisicoquímicos de las AAM

Variable	s/tratar	R = 3:1	R = 1:1	R = 1:3
T, °C	11.600	20.600	20.600	20.600
pH	4.107	6.837	6.660	6.457
C.E., uS/cm	420.967	88.767	86.933	85.600
O.D., mg/L	7.087	6.413	6.427	6.437
S.D.T., mg/L	532.000	280.500	277.933	274.167

Tabla N° 4.6. Resumen de los Análisis químicos de las AAM

---

Variable	s/tratar	R = 3:1	R = 1:1	R = 1:3
Cu, mg/L	0.366	0.1927	0.2342	0.1776
Fe, mg/L	1.34	0.3274	0.2663	0.2023
Pb, mg/L	0.199	0.1313	0.1056	0.0992
Zn, mg/L	0.2397	0.1646	0.151	0.1459

---

## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. DISCUSIÓN**

De acuerdo con los resultados reportados en la tabla 4.1 y comparando con los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas y los ECAs para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas animales., podemos señalar lo siguiente:

- El pH se encuentra por debajo de los LMP, por lo que las aguas de la Quebrada de Parag deben ser consideradas como ácidas, además esto indicaría que existen altas concentraciones de metales disueltos.
- La conductividad de las aguas de esta quebrada están por debajo de los ECA, tanto como para riego de vegetales ( $CE < 2000$ ) como para bebidas de animales ( $CE \leq 5000$ ). Este valor nos da un indicio de que las aguas de este lugar son bajas en sales.
- El O.D. (7.0867) está por encima de los ECA, tanto como para riego de vegetales ( $OD > 5$ ) como para bebidas de animales ( $CE \leq 5000$ ). Por lo que de acuerdo con la legislación nacional las aguas de este lugar pueden ser consideradas aptas tanto para riego como para bebida de los animales.
- Los S.D.T., este valor no está considerado dentro de las normas legales de nuestro país.

De la tabla 4.2 podemos señalar que:

- La concentración de cobre está por debajo de los LMP ( 0,5 mg/L) y los ECA (0,5 mg/L), por lo que estas aguas no llegan a superar lo establecido por las normas peruanas.
- En lo referente al Hierro, este elemento no llega a superar las normas establecidas tanto por los LMP (2 mg/L), como por los ECA (1 mg/L).
- El plomo, considerado como uno de los metales pesados más tóxicos, se encuentra en una concentración aproximada de 0,2 mg/L, por lo que se puede considerar de acuerdo con los LMP que se encuentra dentro de los límites permisibles, mientras que de acuerdo con los ECA (0,05 mg/L) supera los límites, por lo que esta agua no podría ser considerada apta para bebidas de animales.
- El zinc no supera lo establecido por ninguna de las normas legales peruanas (LMP = 1,5; ECA = 2).

En la tabla 4.3 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos de las AAM que han sido sometidas al tratamiento con el mucílago de la tuna para las diferentes concentraciones de extracto, observando que:

- El pH para las tres concentraciones de mucílago se incrementa, para las R = 3:1 y 1:1 el pH se encuentra dentro del rango establecido por las ECAs, ya sea utilizada para riego como para bebida; mientras que para la R = 1:3 el pH se encuentra ligeramente por debajo de los ECAs.
- Para la C.E. y el O.D. no sobrepasan las normas establecidas por nuestra legislación ambiental.
- De las figuras 4.2, 4.3 y 4.5 se puede observar que los parámetros pH, C.E. y

S.D.T. disminuyen a medida que se aumenta la concentración de extracto de mucílago, mientras que para el O.D. aumenta proporcionalmente con la concentración del extracto.

En la tabla 4.4 se presentan los resultados de los análisis químicos para la determinación de la concentración de los metales presentes en el AAM tratada con el mucílago, observando que:

- Haciendo una comparación con los LMP establecidos por las normas peruanas vigentes, ninguno de los metales, cobre, hierro, plomo y zinc, sobrepasa estos límites.
- De las figuras 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 podemos observar que a medida que aumenta la concentración de extracto se reducen más las concentraciones de los metales presentes.

De las tablas 4.5 y 4.6 se puede observar que:

- El valor más alto para el pH se obtiene cuando se utiliza para una  $R = 3:1$ , con lo que aumenta hasta un 66,47% y el más bajo para una  $R = 1:3$  con un aumento de 57,22%. En todos los casos se logra reducir la acidez de las AAM.
- La C.E. se reduce hasta un 79,66% con una  $R = 1:3$  y 78,91% para una  $R = 3:1$ , en sus valores más alto y más bajo respectivamente.
- El O.D. desciende un 9,51% y un 9,17% para una  $R = 1:3$  y una  $R = 3:1$  respectivamente, sin embargo sigue manteniéndose dentro de los ECA para ser considerada como agua apta para el riego y bebida de los animales.

- Los S.D.T. disminuyen en un 47,27% y 48,46% para una R = 1:3 y una R = 3:1 respectivamente.
- La concentración de cobre disminuye en las AAM hasta un 51,48% para una R = 1:3, mientras que la concentración del hierro se reduce en un 84,90%. Del mismo modo sucede con la concentración plomo la que se reduce hasta 50,15% y la concentración de zinc 39,13%, todos estos resultados se obtienen cuando las AAM son tratadas con el extracto de mucílago para una R = 1:3.

## 5.2. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos concluir que:

- Se ha demostrado que el extracto del mucílago logra reducir la acidez que presentan las AAM, hasta un 66,47% para una R = 1:3.
- El extracto de la tuna no sólo ha logrado disminuir la acidez, sino que también ha logrado ser eficiente en la reducción de la C.E. y S.D.T. presentes en las AAM.
- El mucílago de la tuna (extracto) es un polímero natural que sirve como coagulante en el tratamiento de las AAM.
- El polímero de la tuna es un buen coagulante que no sólo ha reducido el pH, sino que también ha permitido disminuir la concentración de los metales presentes en las AAM, tales como el cobre, hierro, plomo y zinc.

- El polímero obtenido es de naturaleza orgánica, por lo que se puede utilizar como sustituto de otros coagulantes que se obtienen de manera sintética y que ocasionan graves consecuencias al medio ambiente.

### **5.3. RECOMENDACIONES**

Se pueden sugerir las siguientes recomendaciones:

- Investigar más a fondo sobre las propiedades coagulantes que posee el mucílago de la tuna, ya que puede ser una alternativa para los coagulantes químicos y una elección sostenible para el pretratamiento de otras aguas residuales industriales de diferentes orígenes.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS

#### Bibliografía

Aduviri, O. (2006). *Drenaje ácido de mina generación y tratamiento*. Madrid: España

Medina, R. (2018). *diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina Paragsha cerro de <pasco en minera volcan S.A.A. Universidad nacional de San Agustín . Arequipa - Perú.: Universo.*

Quispe, H. (2012). *Aplicación del mucílago extraído del nopal (OPUTIA FICUS-INDICA) en la clarificación de agua del rio Uchusuma. Tacna - Perú. : Universo.*

Ramirez, G. (2013). *Estudio tecnico del tratamiento de aguas acidas. Universidad nacional del Callao . Callao: Amazonas.*

Torres, V. (2017). *Análisis del coagulante natural opuntia ficus con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, . Lima-Perú. : Amazonas.*

## ANEXOS

### ANEXO 1: Resultados obtenidos para las muestras de AAM sin tratar

Tabla N°. Propiedades Fisicoquímicas del AAM

MUESTRA	T	pH	C.E.	O.D.	S.D.T.
M1	11.600	4.100	421.000	7.080	531.000
M2	11.600	4.110	420.800	7.100	533.000
M3	11.600	4.110	421.100	7.080	532.000

Tabla N° Análisis químico del AAM

MUESTRA	Cu	Fe	Pb	Zn
M1	0.317	1.26	0.22	0.235
M2	0.397	1.28	0.192	0.246
M3	0.384	1.48	0.185	0.238
L.D.	0.00003	0.0004	0.0002	0.01

Donde:

T: °C

C.E.: mS/cm

O.D.: mg/L

S.D.T.: mg/L

La concentración de los metales: [Cu], [Fe], [Pb], [Zn] en mg/L **ANEXO 2: Resultados obtenidos para las muestras de AAM con extracto de mucílago**

Tabla N° . Propiedades Fisicoquímicas del AAM con extracto, para una R = 3

R = 3:1	T	pH	C.E.	O.D.	S.D.T.
M1	20.60	6.83	88.50	6.41	280.00
M2	20.60	6.84	89.00	6.42	281.00
M3	20.60	6.84	88.80	6.41	280.50

Tabla N° . Propiedades Fisicoquímicas del agua ácida de mina, para una R = 1

R = 1:1	T	pH	C.E.	O.D.	S.D.T.
M1	20.60	6.67	86.8	6.43	277.8
M2	20.60	6.66	87	6.43	278
M3	20.60	6.65	87	6.42	278



---

	Cu	Fe	Pb	Zn
M1	0.23420	0.26580	0.10540	0.15040
M2	0.23450	0.26660	0.10560	0.15150
M3	0.23380	0.26640	0.10580	0.15100

---

**Tabla N° Análisis químico del AAM tratada con el extracto R = 1:3**

---

	Cu	Fe	Pb	Zn
M1	0.17750	0.20150	0.09980	0.14630
M2	0.17800	0.20180	0.09920	0.14570
M3	0.17720	0.20360	0.09850	0.14580

---

**Anexo 3: LMP para efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas. DS N°**

010-2010-MINAM

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES  
PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE  
ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Anexo 3: ECA para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas

animales. DS N° 002-2008-MINAM

**ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA  
CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES**

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -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
<b>Inorgánicos</b>		
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	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Picno	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

**ESTANDÁRES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA  
CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES**

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>Unidad</b>	<b>Vegetales</b>	<b>Vegetales</b>
		<b>Tallo Bajo</b>	<b>Tallo Alto</b>
		<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
<b>Biológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helminfos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
<b>PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
<b>Físicoquímicos</b>			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<= 5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<= 15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	50	
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 - 8,4	
Sulfitos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
<b>Inorgánicos</b>			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Calcio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
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	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
<b>Orgánicos</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	

## JURADO EVALUADOR

Dr. Nunja García, José Vicente

**PRESIDENTE**

M(o). Rodríguez Espinoza, Ronald Fernando

**SECRETARIO**

M(o). Ipanaque Roña, Juan Manuel

**VOCAL**

M(o). Coca Ramírez, Víctor Raúl

**ASESOR**