

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**

**“CLARIFICACIÓN DE UNA SOLUCIÓN RICA DE ORO USANDO MUCÍLAGO DE  
LA PENCA DE TUNA (OPUNTIA FICUS-INDICA) COMO FLOCULANTE  
NATURAL A NIVEL LABORATORIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO METALÚRGICO**

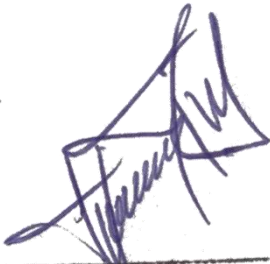
**PRESENTADO POR:**

Bach. CALZADO CONDOR JUVER YONATAN

**ASESOR:**

M(o) IPANAQUÉ ROÑA, Juan Manuel

Reg. CIP N° 66303, DNU N° 301

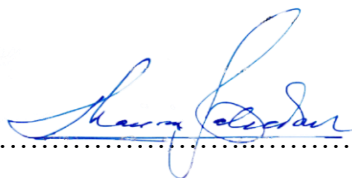


**JUAN M. IPANAQUE ROÑA  
ING. METALURGISTA  
B. CIP. 66303**

**HUACHO – PERÚ**

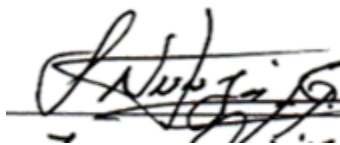
**2021**

**“CLARIFICACIÓN DE UNA SOLUCIÓN RICA DE ORO USANDO  
MUCÍLAGO DE LA PENCA DE TUNA (OPUNTIA FICUS-INDICA) COMO  
FLOCULANTE NATURAL A NIVEL LABORATORIO”**



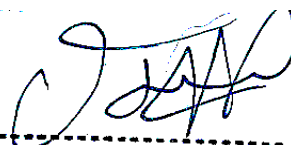
.....  
Dr. MÁXIMO TOMÁS SALCEDO MEZA

Presidente



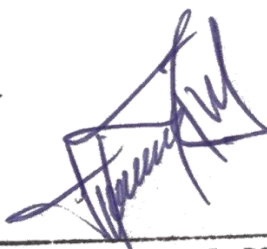
.....  
Dr. JOSE VICENTE NUNJA GARCIA

Secretario



.....  
Mg. Ing. JAIME IMAN MENDOZA  
C.I.P. 108834 DNU 432  
M(o). JAIME IMAN MENDOZA

Vocal



.....  
JUAN M. IPANAQUE ROÑA  
ING. METALURGISTA  
B. CIP. 86303

M(o) IPANAQUÉ ROÑA, Juan Manuel

Asesor

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi madre quien lucho día a día para ser de mi un profesional, todos mis agradecimientos son para ella la mujer más maravillosa del mundo.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a mis padres quienes fueron el motor para impulsarme a salir adelante y también a los maestros quienes me guiaron ala gloria.

## **PENSAMIENTO**

“Si tienes palabras más fuertes que el silencio,  
habla. Si no las tienes, entonces guarda silencio”.

Eurípides

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
PENSAMIENTO .....	5
INDICE GENERAL .....	6
INDICE DE TABLA .....	9
INDICE FIGURA .....	10
RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
CAPITULO I .....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	14
1.2. Formulación del problema .....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problemas específicos.....	15
1.3. Objetivos de la investigación .....	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. Justificación de la investigación.....	16
1.4.1. Justificación técnica .....	16
1.4.2. Justificación económica .....	16
1.5. Viabilidad del estudio.....	17
1.5.1. Viabilidad técnica .....	17

1.5.2. Viabilidad Ambiental.....	17
1.5.3. Viabilidad financiera.....	17
CAPITULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Investigación nacional. ....	19
2.2. Bases teóricas. ....	21
2.2.1. Separación sólido líquido.....	21
CAPITULO III.....	30
METODOLOGÍA.....	30
3.1. Diseño metodológico.....	30
3.1.1. Tipo de investigación.....	30
3.1.2. Nivel de investigación. ....	30
3.1.3. Diseño de la investigación.....	30
3.1.4. Enfoque de la investigación.....	31
3.2. Población y muestra. ....	31
3.2.1. Población. ....	31
3.2.2. Muestra. ....	32
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.3.1. Técnicas a emplear. ....	32
3.3.2. Descripción de los instrumentos.....	33
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información. ....	33
3.5. Matriz de consistencia.....	34
CAPITULO IV.....	35

RESULTADOS.....	35
4.1. Análisis de resultados.....	35
4.1.1. Condiciones de trabajo.....	35
4.1.2. Resultados de la molienda y caracterización del mineral.....	37
4.1.3. Resultados obtenidos de la cianuración.....	39
4.1.4. Resultados obtenidos de las pruebas de sedimentación.....	40
4.2. Contratación de hipótesis.....	46
4.1.5. Contratación de hipótesis general.....	46
4.1.6. Contratación de hipótesis específico.....	46
CAPITULO V.....	48
DISCUSION.....	48
5.1. Discusión de resultados.....	48
CAPITULO VI.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
6.1. Conclusiones.....	50
6.2. Recomendaciones.....	50
CAPITULO VII.....	51
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	51
7.1 Fuentes Bibliográfica.....	51
ANEXO.....	54



## INDICE DE TABLA

Tabla 1 Operacionalización de las variables e indicadores .....	29
Tabla 2 Diseño Factorial $2^2$ .....	31
Tabla 3 Matriz de consistencia .....	34
Tabla 4 Condiciones para la sedimentación.....	35
Tabla 5 Diseño factorial para $2^2$ para la sedimentación de sólidos.....	36
Tabla 6 Condiciones para las pruebas experimentales de sedimentación.....	36
Tabla 7 análisis granulométrico de la muestra de mineral.....	37
Tabla 8 Densidad del mineral .....	38
Tabla 9 Pruebas de cianuración de minerales .....	39
Tabla 10 .....	40
Tabla 11 Resultado de las pruebas de diseño factorial $2^2$ .....	41
Tabla 12 Coeficientes codificados Turbidez (mg/L) vs. Concentración (g/L); Tiempo(segundos); PtCentral. ....	43
Tabla 13 Análisis de Varianza Turbidez (mg/L) vs. Concentración (g/L); Tiempo(segundos); PtCentral. ....	44

## INDICE FIGURA

Figura 1 Mecanismo de coagulación orgánico .....	24
Figura 2 Curva de pasante y retenido .....	37
Figura 3 Curva de moliendabilidad pasante a m200 vs tiempo .....	38
Figura 4 Curva de turbidez vs concentración(g/L) .....	41
Figura 5 Diagrama de Pareto de efecto de la clarificación de la solución. ....	45

## RESUMEN

En la “Clarificación de una solución rica de oro usando mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural a nivel laboratorio”, es un trabajo experimental, Obteniendo en a medida que se incrementa la dosificación de mucilago de tuna disminuye la turbidez con una relación matemática  $Turbidez\ Y(mg/L) = -0.04\ln(\text{concentración floculante (g/L)}) + 0.1413$  con un coeficiente de correlacional 0.972. En las pruebas realizadas mediante el diseño factorial  $2^2$ , se obtuvo cuatro pruebas y dos medidas centradas con una concentración de mucilago de tuna 0.054 g/L y 0.150 g/L y un promedio de 0.102 g/L, para el tiempo de 25 y 30 segundos con promedio de 27.5 segundos. Obteniendo el mejor resultado para 0.150 g/L en 30 segundos una turbidez de 0.82 mg/L, en el análisis de varianza el valor de p calculado es 0.003 para la concentración(g/L), para el tiempo(segundos) 0.018 y en la interacción de concentración(g/L) x tiempo(segundos) es de 0.039 menor a 0.05, y los valores del bloque A (concentración g/L), B (tiempos segundos), A (concentración g/l) x B (tiempos segundos) del diagrama de Pareto es mayor a 12.7. Concluyendo que el extracto mucílago de la tuna influye estadísticamente en la clarificación de la solución cianurada ya que el valor de p calculada es menor a 0.05, sin embargo, no se llega a obtener por debajo de 1 NTU de turbidez.

Palabra Clave: Clarificación soluciones rica, floculante natural, turbidez de lixiviado.

## ABSTRACT

In the "Clarification of a rich gold solution using mucilage from the prickly pear leaf (*Opuntia ficus-indica*) as a natural flocculant at the laboratory level", it is an experimental work, obtaining as the dosage of prickly pear mucilage is increased decreases turbidity with a mathematical relationship  $Turbidity\ Y\ (mg\ /\ L) = -0.04\ln(\text{flocculant concentration}\ (g\ /\ L)) + 0.1413$  with a correlation coefficient 0.972. In the tests carried out using the factorial design 2<sup>2</sup>, four tests and two central measurements were obtained with a concentration of prickly pear mucilage 0.054 g / L and 0.150 g / L and an average of 0.102 g / L, for the time of 25 and 30 seconds with an average of 27.5 seconds. Obtaining the best result for 0.150 g / L in 30 seconds a turbidity of 0.82 mg / L, in the analysis of variance the calculated p value is 0.003 for the concentration (g / L), for the time (seconds) 0.018 and in the interaction of concentration (g / L) x time (seconds) is 0.039 less than 0.05, and the values of block A (concentration g / L), B (times seconds), A (concentration g / l) x B (times seconds) of the Pareto chart is greater than 12.7. Concluding that the mucilage extract of the prickly pear statistically influences the clarification of the cyanide solution since the calculated p value is less than 0.05, however, turbidity is not below 1 NTU.

**Key Word:** Clarification rich solutions, natural flocculant, leachate turbidity.

## INTRODUCCIÓN

En la “Clarificación de una solución rica de oro usando mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural a nivel laboratorio”, permite en el estudio emplear en la clarificación de las soluciones ricas provenientes de la cianuración, emplear floculantes naturales que sean amigable al medio ambiente, ya que en la precipitación de oro y plata empleando polvo de zinc, para una buena precipitación eficiente es necesario que la turbidez de la solución cianurada o solución rica debe de estar menor a 1 NTU.

La grandez empresa emplean en la clarificación de la solución cianurada floculantes industriales y su posterior filtración empleando ayudante filtrante como la diatomita con ello llegan por debajo de 1 NTU.

En el presente estudio se busca alternativas que nos permitan emplear floculantes naturales para la clarificación de las soluciones cianuradas que sean más amigables al medio ambiente y que sean renovables.

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

En el Perú, se desarrolla una intensa actividad minera del oro, teniendo como protagonistas a los mineros formales e informales que participan directamente en la producción del mineral. Para el beneficio de estos minerales de oro, se aplica el proceso de Gravimetría - Amalgamación a los minerales de alta ley en oro, y el proceso de lixiviación a los minerales de baja ley en oro.

En un proceso hidro-metalúrgico, la lixiviación tiene importantes implicaciones económicas, no solo porque la recuperación del metal está controlada por el rendimiento de esta etapa sino también porque los consumos de reactivos dentro del proceso tienen en la lixiviación su factor más importante. Por otra parte, el método de lixiviación condiciona fuertemente, las etapas precedentes y posteriores.

En una Planta de Lixiviación la sedimentación es el proceso por el cual se separan la fase sólida, mineral reducido y el licor rico en los metales valiosos extraídos. La operación de los sedimentadores con una densidad de fondo estable, de 1650 g/L a 1750 g/L, incide en los indicadores de eficiencia de la planta, evitando el incremento de la concentración de níquel en solución en las etapas que le siguen, por una disminución del flujo de licor contenido en la pulpa espesada que se extrae del mismo.

Además todo este proceso unitario está ligado directamente al consumo de agua es decir, la industria está buscando desarrollar y ser consistente al exhibir indicadores de eficiencia que permitan determinar la evolución de los consumos y los resultados de las determinaciones adoptadas para mejorar la eficiencia en el uso del agua, entre los indicadores que se buscan hoy están: El consumo total de agua fresca y la tasa de recirculación =  $H_2O \text{ (Total)} - H_2O$

(Fresca)/H<sub>2</sub>O (Total)\*100 y la medición de flujos en los procesos por lo tanto la gestión del recurso hídrico (mide y evalúa las interacciones y repercusiones sociales económicas y ambientales para fijar metas de sustentabilidad).

Una alternativa técnico-económica es el uso de la tuna como un reactivo de composición de polímero natural en la etapa de sedimentación y filtrado en una planta industrial de lixiviación de minerales auríferos. Obteniéndose resultados aceptables e importantes.

## **1.2. Formulación del problema**

Analizar las factibilidades del uso del mucílago de la penca de la tuna como floculante natural en el proceso de lixiviación (obtención de oro) para la clarificación, en un proceso Merrill Crowe.

### **1.2.1. Problema general**

¿Tendrá efecto el extracto mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como floculante natural en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Como afecta la concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro?
- ¿Tendrá efecto el tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, en la clarificación de la turbidez?
- ¿Cómo influye el tiempo y la concentración del floculante natural mucílago de la penca de la tuna, en la clarificación de la turbidez final de la solución rica de oro?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia del extracto mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como floculante natural en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro.
- Determinar efecto del tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, en la clarificación de la turbidez.
- Determinar la influencia del tiempo y la concentración del floculante natural mucílago de la penca de la tuna, en la clarificación de la turbidez final de la solución rica de oro.

### **1.4. Justificación de la investigación**

#### **1.4.1. Justificación técnica**

El uso de este polímero natural respecto a la aplicación de floculantes industriales comparativamente es mejor. Su uso se encuentra investigado y aplicado exitosamente en el tratamiento de agua potable y residual.

#### **1.4.2. Justificación económica**

La aplicación industrial, respecto al tiempo de sedimentación y clarificación de la pulpa cianurada respecto al tiempo es buena, resultando en una optimización de costos en esta etapa de la obtención del oro.



## **1.5. Viabilidad del estudio**

### **1.5.1. Viabilidad técnica**

El estudio es viable, ya que se trata de usar y/o aplicar la tuna en forma industrial por su bajo costo en las plantas de lixiviación claro está que previamente realizadas las pruebas a nivel laboratorio. Es viable porque se accedió a evaluar el uso de la tuna en el proceso de sedimentación en la Minería.

### **1.5.2. Viabilidad Ambiental**

Debido a la naturaleza de la investigación el uso de mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) no genera impacto ambiental negativo en los efluentes de agua en las zonas de estudio, ya que es biodegradable.

### **1.5.3. Viabilidad financiera**

El recurso económico necesario para el estudio es garantizado en su totalidad por el investigador.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales.

Olivera, Aguas, Mercado, Casas, & Montes (2014) en su trabajo titulada “Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas”. Publicado en la revista avances Investigación en Ingeniería. Es una investigación experimental obteniendo los siguientes resultados. Para una turbidez de 164 UNT a pH 6.55 con 100 y 200 rpm, el mejor resultado se da 200rpm con una concentración de 35 mg/L y 40 mg/L de alumbre y mucilago se obtiene 1.22 UNT a pH 5.54 para alumbre y 31.36 UNT a pH 6.35 para mucilago a una concentración de 35 mg/L y 2.25 UNT a pH 5.54 para alumbre y 28.45 UNT a pH 6.41 para mucilago a una concentración de 40 mg/L, el floculante natural mucilago de tuna tiene una eficiencia de reducción de turbidez del 83.66% llegando a 99.30%, mientras que el alumbre es más eficiente. Concluye que a una agitación 200 rpm el alumbre tiene mejor resultado que el floculante natural mucilago que no cumple las normativas colombianas para el consumo humano, pero se puede usar en otras actividades (p.74).

Morejón (2017) en su trabajo titulado “Utilización del mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi”, presentado a la Universidad Técnica del Norte Ibarra. El trabajo fue experimental y se llegaron a los siguientes resultados para 25% de mucílago de tuna y 75% de agua para el agua con sólidos disueltos de 85 mg/L se obtuvo: pH de 6.93, turbidez 5.89 UNT, dureza 63.52 mg/L. El costo con sulfato de aluminio es 0.84 \$/m<sup>3</sup>, mientras que con mucilago de tuna 0.33 \$/m<sup>3</sup>. Concluyendo que el uso de mucilago de tuna en el agua tratada está dentro de los parámetros establecidos por las normas ecuatorianas y es factible en el tratamiento de agua para el consumo humano y el costo de tratamiento es menor que el sulfato

de aluminio no deja residuos y son productos naturales que se encuentran en la naturaleza amigable al medio ambiente (p.72).

Choque (2019) en su trabajo titulado “optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas” publicado en la revista DINA. Es una investigación experimental, donde se evaluaron tres tipos de floculantes naturales san pedro, ulliquite y tuna que fueron extraído con etanol al 96% para su evaluación se aplicaron al 1%, 2% y 3% en el tratamiento de aguas residuales artificiales. Obteniendo una extracción del 99.09% para san pedro, 92.42% para ulliquite y 98.98% para la tuna con una dosis de 0.207%, 0.246%, 0.754% de coagulante. Concluyendo que con el aumento de la dosis de los coagulantes se incrementa significativamente la extracción ya que el valor p calculado es menor a 0.05(p.90).

### **2.1.2. Investigación nacional.**

Lozano (2018) en su tesis de grado “Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018”, publicado en la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo Perú. Es una investigación experimental llegando a los siguientes resultados para una turbidez del 55 NTU, donde se evaluaron, turbidez, pH, conductividad y dosis de coagulante, obtuvo una turbidez del 10 NTU con una velocidad de agitación de 40 rpm a una dosificación de 0.50 mL. Concluyendo la floculación coagulación natural en el proceso de escurrimiento es más eficiente en disminución de la turbidez en comparación con la extracción licuación (p.61).

Godoy (2018) en su trabajo titulada “Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna” publicado por la Universidad Privado del Norte Perú. En su investigación experimental con el empleo de floculante natural tuna y el COPOL CS 600 floculante comercial se emplean en el

tratamiento de aguas del río San Luis (sector Urubamba). Obteniendo los resultados para floculante comercial a 60 rpm con 8 mg para 600mL se obtuvo una turbidez de 10.3 NTU, mientras que para el floculante natural tuna a 50 rpm y 10 mg para 600 mL se obtuvo una turbidez de 3.34 NTU y un pH de 7 neutro y 8 alcalina registrándose dentro de los parámetros entre (6.5 a 8.5). concluyendo que el floculante natural de tuna es mejor para el tratamiento de agua del río, que el floculante comercial Copel CS 600(p.65).

Quispe (2012) en su trabajo titulada "Aplicación del mucílago extraído de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación del agua del río Uchusuma". Presentado a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Perú. Es un trabajo experimental llegando a los resultados en las pruebas de jarra en el caso de mucilago fresco la dosis adecuada es 0.5mL/L, mientras que sea seco al 1% de mucilago el mejor resultado es 1 mL/L. Para una solución de 1000 NTU de turbidez se obtiene 95.39% de remoción, mientras que para una solución de 500 NTU se obtiene 92.36%. Concluyendo que el mucilago fresco es más eficiente que el mucilago seco y no es posible llegar a una clarificación menor 20 NTU de turbidez(pp.71-72).

## 2.2. Bases teóricas.

### 2.2.1. Separación sólido líquido.

El producto del proceso de concentración de minerales por flotación, concentración gravímetro, extracción de los metales de la cianuración y lixiviación de los minerales es necesario la separación solida líquido para el siguiente proceso. En el caso de la solución rica que contiene oro y plata se debe separar la los sólidos suspendidos en el agua (Domic, 2001). Los procesos de separación se pueden clasificar en sedimentación, filtración y secado térmico (Wills, 1988).

### 2.2.2. Sedimentación.

Es un proceso donde se producen una solución clarificada y una fase solido que se asientan en la parte inferior por diferencia de densidad. Una solución compuesta de una pulpa que tiene agua y solidos suspendidos en ello es necesario la separación de las partículas que se encuentran disuelto en el agua.

La separación se puede realizar mediante de una decantación natural, por una fuerza centrífuga aprovechando la diferencia de las densidades. Las partículas de los minerales de acuerdo el tamaño y a sus propiedades pueden separarse aprovechando el principio de stock y newton de acuerdo el tamaño de las partículas (Wills, 1988), pero hay partículas finas que se demoran en precipitarse para ellos es necesario realizar una sedimentación centrifugación.

Existen alternativas más económicas para realizar la sedimentación, para ello es necesario utilizar reactivos para la coagulación y floculación de las partículas dispersa para que se agrupen y se incremente su sedimentación (Quiroz, 1986).

### 2.2.3. Tipo de sedimentación.

Entre los tipos de sedimentación de los sólidos a partir de una pulpa constituida por el agua y las partículas dispersa y la interacción de las partículas se pueden clasificar en 4 tipos:

Sedimentación discreta, sedimentación floculante, sedimentación retardas o zonal, sedimentación por compresión o espesamiento.

a) **Sedimentación discreta:** Es una sedimentación de forma individual donde no varían sus particularidades (tamaño, densidad forma, etc), la velocidad de sedimentación es constante

y las fuerzas de las partículas actúan equilibradamente. Se puede aplicar en los desarenadores y sedimentadores de aguas.

- b) **Sedimentación floculante:** Ocurre cuando se adiciona reactivos(floculante) para realizar un desequilibrio de la estabilidad de las partículas, como consecuencia se agrupan las partículas y forma un floculo e incrementan la velocidad de sedimentación. Las condiciones cambian durante el proceso respecto si característica de las partículas (tamaño, densidad, forma) presente, se aplica al tratamiento de aguas y a la sedimentación de los concentrados de minerales y relaves.
- c) **Sedimentación retardada o zonal:** Ocurre cuando la intervención del floculante forma una elevada concentración de las partículas dispersas que flotan formando un floculo de masa. La interfase presente es distinta y la suspensión de la masa sedimenta durante su descenso. Esto se presenta en el tratamiento biológico y químico a las aguas por el proceso lodos activos.
- d) **Sedimentación por compresión o espesamiento:** Es el proceso físico donde está en contacto las partículas en masa y existe mayor consolidación y se reduce el volumen de solidos debido a la salida del fluido. La consolidación se realiza en los espesadores y los sedimentadores dinámicos. Existen dos tipos de sedimentación por espesamiento: sedimentación individual o libre y sedimentador por zonas.
  - **Sedimentación libre o individualizada:** Es aplicable cuando la presencia de los sólidos tiene baja concentración. En este proceso la interacción de las partículas es considerado despreciable, por lo que, el proceso de sedimentación está relacionado a la velocidad del fluido.
  - **Sedimentación por zonas:** En el proceso de sedimentación en un inicio se tiene el lodo uniforme en el tiempo se produce zona diferentes concentraciones de solidos conocido como zonas de separación entre ellos se tiene zona clarificada, zona interfacial, zona transición y zona compactación a medida que las partículas se agrupan y van precipitando se va elevando la concentración hasta llegar a compactación.

En el proceso de sedimentación existe tres zonas aglomeración, zona de clarificación y zona de alta concentración de solidos o pulpa, la sedimentación se puede clasificar en continuo o discontinuo.

- **Sedimentación discontinua:** Es proceso se realiza en Bach es decir no existe un flujo es decir solo un volumen, se realiza en su mayoría con fines experimentales con la finalidad de sacar datos de tiempo y el consumo de reactivos floculantes, para ello se emplean probetas y vasos donde se deja en reposo una solución compuesta de sólidos y líquido para la sedimentación de los sólidos que aparece en la parte inferior y el líquido transparente en la parte superior (Barry & James, 2016).
- **Sedimentación continua:** El proceso se realiza con flujo continuo que ingresa a los clarificadores por la parte intermedia y produce dos fases una pulpa que es evacuado por la parte inferior y una fase líquida transparente por la parte superior por rebose que sale del clarificador (Barry & James, 2016).

El proceso de separación sólido líquido, tiene diferentes objetivos a nivel industrial y experimental. A nivel experimental recopilar datos del comportamiento de los variables en estudio y a nivel industrial tratamiento de aguas, para consumo humano, tratamiento de aguas residuales, en el caso de procesamiento de soluciones cianurada es una clarificación con la finalidad de precipitar el oro y plata.

#### **2.2.4. Coagulación y floculación.**

La pulpa proveniente del proceso de lixiviación, cianuración y flotación de los minerales, es necesario la separación sólido líquido, con la finalidad de realizar el siguiente proceso, para ello se tiene que tener en cuenta el tamaño de partículas y la morfología natural y química del sólido presente en la pulpa. El tamaño de partícula menores a  $1 \mu\text{m}$  se le denomina coloide, mientras las que tiene menor a  $0.1 \mu\text{m}$  se le denomina super coloide los que se encuentran dispersa en la pulpa. El particular en un rango entre  $1 \times 10^{-6}$  a  $1 \times 10^{-9}$  m que se encuentran disperso en la pulpa se tiene dificultad para su separación por lo que es necesario emplear un agente que permite aglomerar para que puede ayudar la separación sólido líquido (Svarovsky, 2000).

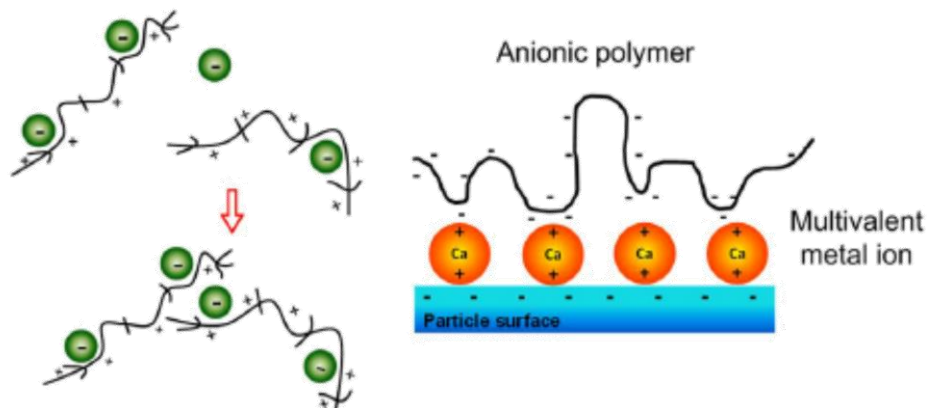
La neutralización de la carga se puede realizar adicionando múltiples cationes como  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  para la neutralización de la carga. Las sales donde se presenta estos cationes son sulfato de aluminio, sulfato de hierro, cloruro de hierro, hidróxido de calcio (Barry & James, 2016).

### 2.2.4.1. Coagulación.

Es el proceso de desestabilización de las partículas de mineral que se encuentran dispersa en el agua para luego agruparse y formar un coagulo de las partículas con la finalidad de que esta agrupación de partículas se decante posteriormente. Por otra parte, es el cambio de la carga de la superficie de la partícula con la finalidad agruparse (Barry & James, 2016).

La coagulación electrostática o por atracción ocurre cuando dos partículas tienen carga opuestas se logra con la adición de coagulante orgánica polímeros de bajo peso molecular que posee grupo funcional catiónicos (Barry & James, 2016).

*Figura 1*  
*Mecanismo de coagulación orgánico*



Nota: fuente figura 15.6 “mecanismos de floculación que utilizan polímeros orgánicos: (a) puente por polímero catiónico (b) co-uso de la adsorción de  $\text{Ca}^{+2}$  y puentado por polímero aniónico” (Barry & James, 2016, pág. 421).

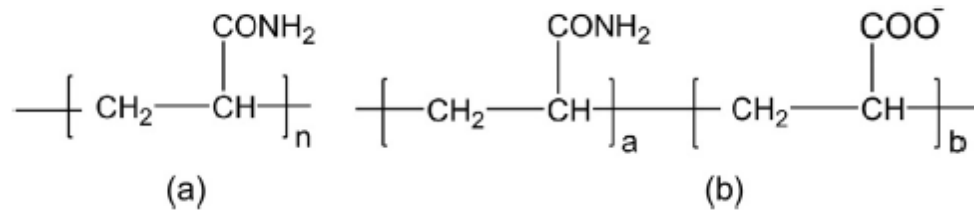
### 2.2.4.2. Floculación.

Es la adición de reactivos para producir un proceso químico que permite agrupar los coloides presentes en el agua, luego acelera la sedimentación de las partículas agrupadas. Los reactivos empleados son sales y sustancias polímera naturales como el almidón o goma (Wills, 1988).

La floculación es la adición de polímeros de cadena larga que permite unir las partículas presentes entre sí (Barry & James, 2016).



Es el uso de polímeros de cadena larga de alto peso molecular que actúan como cadena puente, que se usaban reactivos orgánicos en la actualidad se emplea polímeros sintéticos, con carácter aniónica, no aniónica y catiónica.



Nota: Fuente figura 15.7 “Floculantes de poliacrilamida: (a) polímero sin carga que comprende n monómeros de acrilamida, y (b) un polímero aniónico elaborado por copolimerización con ácido acrílico” (Barry & James, 2016, pág. 421).

## 2.1 Definiciones conceptuales.

- **Cianuración:** Es el medio donde interviene el cianuro de sodio para la disolución del oro mediante procesos dinámicos o estáticos (Vargas, 2015).
- **Cianuro de Sodio:** Es un reactivo inorgánico compuesto por sodio, nitrógeno y carbono ( $\text{NaCN}$ ), altamente letal para el ser viviente, se empleará en la minería en la flotación y cianuración de oro y plata (Arrau, 2006).
- **Cianuro Libre:** Es la unión de carbono y nitrógeno que forma el ión de cianuro ( $\text{CN}^-$ ), que se encuentra libre en el agua en un medio alcalino, es un excedente que no forma complejo aniónico estable de un metal (Vargas, 2015).
- **Coagulante:** Son reactivos inorgánicos o orgánicos que permite producir flóculos en la en el agua si existe partícula dispersa en la disolución.
- **Filtrado:** Es el proceso de separación de solido liquido de una pulpa, mediante un medio que deja pasar el agua y retiene los sólidos (Porras, 1997).
- **Floculación:** Es el proceso de agrupación de las partículas disperso en una en el agua o disolución por la intervención de los reactivos floculantes que rompe la tención superficial del agua.
- **Floculante:** Son reactivos que promueven la formación de coágulos en la pulpa permite la agrupación de las partículas dispersas para forma una partícula más grande (Porras, 1997).
- **Lixiviación:** Es el proceso de extracción de los metales por disolución a partir de minerales, por medio de un agente extractor en un medio acido o básico, pasándolo a la solución en forma de cationes (Ballestes, Verdeja, & Sancho, 2000).
- **Método Merrill-Crowe:** Es el proceso de tratamiento de la solución rica que ingresa a la clarificación, filtración, desoxigenación en la torre de vacío y la introducción del zinc a la solución para la precipitación de oro y plata (Vargas, 2015).

- **Muestra:** Es una porción de líquido o sólido que representa a la población con fines de estudio (Afaró, 2002).
- **Solución barren:** Es la solución proveniente de las columnas de carbón activado o del circuito de Merrill-Crowe (Domic, 2001).
- **Solución rica:** Es el producto proveniente de la cianuración de mineral por percolación o agitación con alto contenido de oro en forma de cationes (Domic, 2001).
- **Sedimentación:** Es el proceso de precipitación de las partículas presente en el agua, por el cual se separan los sólidos del líquido aprovechando la gravedad y la densidad de los sólidos presente en el medio.
- **Tuna:** Es una planta natural que se encuentra en Sudamérica y México también conocido como nopal nombre científico "Opuntia ficus-indica" (Guevara & Ornelas, 2013)
- **Mucilago:** Es un polisacárido fibroso proveniente de la tuna con un peso molecular  $13 \times 10^6$  g/mol, que contiene entre 30% a 40% de arabinosa, 20% a 35% de glucosa y xilosa, 7% a 8% de ramnosa y ácido galacturónico (Rodríguez, Martínez, Ornelas, & Garnica, 2011).
- **Decantación:** Es el proceso de separación de sólido líquido aprovechando la gravedad específica del mineral o sólido suspendido en el agua de aguas naturales o residuales, donde se obtiene una fase de alta concentración de sólidos y una fase de agua clarificada.
- **Clarificación:** Es el proceso de separación por decantación de los sólidos para obtener una fase de agua clarificada con la finalidad de eliminar los sólidos suspendidos en el agua, para su posterior uso del agua clarificado o solución.

## **2.2 Formulación de hipótesis**

### **2.2.1 Hipótesis general**

El extracto mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como floculante natural influye en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio.

### **2.2.2 Hipótesis específicas**

- La concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna influirá en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro.
- El tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, tendrá efecto en la clarificación de la turbidez.
- El tiempo y la concentración floculante natural mucílago de la penca de la tuna, influye en la clarificación de la turbidez final solución rica de oro.

### 2.3 Operacionalización de variables e indicadores.

En el trabajo de investigación respecto el uso de la tuna como coagulante y floculante natural para la clarificación de una solución rica de oro proveniente de la cianuración a nivel laboratorio, las variables dimensiones e indicadores se encuentran en la tabla 1 de operacionalización.

*Tabla 1*  
*Operacionalización de las variables e indicadores*

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
<b><i>Independiente</i></b>			
Floculante natural	Son compuestos orgánicos que se encuentran en la naturaleza en plantas o animales, con propiedades de agrupar las partículas disociada en el agua, para hacer un floculo y precipitar.	Son factores que intervienen en el proceso de floculación como el tiempo concentración, agitación, etc.	Concentración(g/L) Tiempo(seg.)
<b><i>Dependiente</i></b>			
Clarificación de la solución	Es el proceso por el cual se precipita los elementos y componentes que se encuentran disuelto en el agua, con la finalidad de darle la pureza al agua	Es el resultado de la clarificación de la solución medida en un rango como la turbidez, solidos disueltos, etc.	Turbidez(mg/L)
<b>Intervinientes</b>			
			Agitación. pH. Densidad de pulpa. Temperatura

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Diseño metodológico.**

##### **3.1.1. Tipo de investigación.**

En el estudio sobre el empleo de floculante natural para la clarificación de la solución cianurada de oro con el mucilago de la tuna es una investigación de tipo aplicada ya que se utiliza con conocimientos prácticos. La investigación aplicada tiene “propósitos prácticos inmediatos (...) o producir cambios en un determinado sector de la realidad” (Carrasco, 2010, p. 43).

##### **3.1.2. Nivel de investigación.**

En el trabajo de investigación empleo de floculante natural para la clarificación de la solución cianurada de oro con el mucilago de la tuna, tiene nivel relacional, ya que se busca la relación de la variable independiente con la dependiente si el mucilago de tuna tiene efecto en la disminución de la turbidez de la solución cianurada de oro (Pelella & Martins, 2015).

##### **3.1.3. Diseño de la investigación.**

En el trabajo realizado sobre el empleo de floculante natural para la clarificación de la solución cianurada de oro con el mucilago de la tuna es un diseño experimental, ya que se realizó un diseño factorial con la finalidad de ver el efecto de las variables independiente (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la Investigación, 2014).

Tabla 2

Diseño Factorial 2<sup>2</sup>

N°	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Y(r)
1	+	+	X <sub>1</sub> (max)	X <sub>2</sub> (max)	Y <sub>1</sub>
2	+	-	X <sub>1</sub> (max)	X <sub>2</sub> (min)	Y <sub>2</sub>
3	-	+	X <sub>1</sub> (min)	X <sub>2</sub> (max)	Y <sub>3</sub>
4	-	-	X <sub>1</sub> (min)	X <sub>2</sub> (min)	Y <sub>4</sub>
5	0	0	X <sub>1</sub> (prom)	X <sub>2</sub> (prom)	Y <sub>5</sub>
6	0	0	X <sub>1</sub> (prom)	X <sub>2</sub> (prom)	Y <sub>6</sub>

#### 3.1.4. Enfoque de la investigación.

En la investigación sobre el empleo de floculante natural para la clarificación de la solución cianurada de oro con el mucilago de la tuna, tiene un enfoque cuantitativo ya que se analizará a partir de los objetivos mediante el uso de la matemática y la estadística con la finalidad de medir los resultados de los comportamientos de los fenómenos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

### 3.2. Población y muestra.

#### 3.2.1. Población.

La población del estudio es la solución proveniente de las diferentes pruebas de cianuración de minerales auríferos realizado a nivel experimental realizado en el laboratorio de metalurgia extractiva del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNJFSC. El mineral empleado para las pruebas de cianuración es un mineral cuarcífero con presencia de sulfuros, lo que fueron molido, posteriormente cianurado por agitación. El resultado de la cianuración se tomó como población

para las pruebas a realiza. La población fue el mineral cuyas características son relativamente cuarcíferas con contenidos de oro grueso y partículas finas en ganga de cuarzo con bajos contenidos de óxido de hierro y plata, el mineral aurífero fue extraído del yacimiento de la Mina Colonial Ghantu Cajai, que se encuentra en el departamento de Ancash, provincia y distrito de Huari.

### **3.2.2. Muestra.**

La muestra para las pruebas se extrajo de las soluciones de las pruebas experimentales, se aplicaron el muestreo probabilístico aleatorio simple (Perez, 2016). La muestra para cada prueba de trabajo con 100 mL, siendo un total de 6 muestras para las pruebas experimentales y 1 para el análisis de la muestra. La muestra recopilada se mezcló con una agitación, luego extrajo una muestra representativa deseada de 100 mL y se depositaron en frasco de vidrio para las corridas.

## **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

### **3.3.1. Técnicas a emplear.**

La técnica empleada en la recolección de datos es la observación porque es una investigación experimental (Arias, 2012), en primer lugar, la muestra de mineral se somete a una cianuración dinámica del mineral, luego se obtiene la solución cianurada cargada de oro, esta solución se somete a las pruebas experimentales donde se adiciona el mucilago de tuna, agitación y tiempo para la coagulación y floculación de las partículas suspendas. Para su caracterización del mucilago de tuna se emplea la norma ASTM D2035 para el uso como coagulante-floculante natural.



### **3.3.2. Descripción de los instrumentos**

Para la recolección de la información se emplearon la lista de cotejo (Carrasco, 2010), la información que se recolectó de entrada y salida se registrar en un listado o tabla para luego ser procesada.

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

En el procesamiento de la información se emplearán la matemática y la estadística para la cuantificación mediante tablas, gráficos, análisis de regresión, análisis de varianza para el diseño factorial (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Mediante el uso del Excel, Minitab 19 para el procesamiento de la información y la su digitalización mediante el uso de procesamiento de texto Word y el intercambio de la información en pdf.

### 3.5. Matriz de consistencia.

Tabla 3

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general</b> ¿Tendrá efecto el extracto mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar la eficiencia del extracto mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El extracto mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural influye en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio.</p>	<p><b>variables independientes:</b>  Floculante natural mucilago</p>	<p>Concentración (g/l) Tiempo (segundos)</p>	<p><b>Enfoque de la investigación</b> Cuantitativo <b>Tipo de investigación</b> Aplicada <b>Diseño de investigación</b> Experimental <b>Nivel de investigación</b> Relacional <b>Población</b> Solución cianurada en el laboratorio <b>Muestra</b> Se obtendrá de una de las pruebas de cianuración de oro 100 mL. <b>Técnica de recolección de dato.</b> Observación experimental <b>Técnica de procesamiento de información</b> Estadística Matemática</p>
<p><b>Problemas Específicos</b> ¿Como afecta la concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro? ¿Tendrá efecto el tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, en la clarificación de la turbidez? ¿Cómo influye el tiempo y la concentración del floculante natural mucílago de la penca de la tuna, en la clarificación de la turbidez final de la solución rica de oro?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b> Determinar el efecto de la concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro. Determinar efecto del tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, en la clarificación de la turbidez. Determinar la influencia del tiempo y la concentración del floculante natural mucílago de la penca de la tuna, en la clarificación de la turbidez final de la solución rica de oro.</p>	<p><b>Hipótesis específica</b> La concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna influirá en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro. El tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, tendrá efecto en la clarificación de la turbidez. El tiempo y la concentración del floculante natural mucílago de la penca de la tuna, influye en la clarificación de la turbidez final solución rica de oro.</p>	<p><b>variables dependientes:</b>  Clarificación de la solución</p>	<p>Unidades de turbidez nefelométricas, por sus siglas en inglés NTU.</p>	

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1. Análisis de resultados.

#### 4.1.1. Condiciones de trabajo.

El trabajo se realiza para un mineral aurífero en un primer momento se realiza la molienda, análisis de la malla y la cianuración, en la cianuración se realizó con 2.0 kg de mineral, con una dilución de 1.77, que representa el 36.11% de sólido con una densidad de 2.77 g/cm<sup>3</sup> del mineral y una densidad de pulpa 1.30 g/cm<sup>3</sup> con un volumen de pulpa de 4 litros.

En la sedimentación se realizaron dos momentos una para ver la sedimentación para la clarificación de la solución rica y la segunda para el ver el efecto del tiempo y la concentración del floculante natural para la clarificación.

*Tabla 4*

*Condiciones para la sedimentación*

Muestra	Concentración (g/L)	$T_{\text{agitación}}$ (seg)
1	0.15	30
2	0.108	30
3	0.081	30
4	0.054	30

En la tabla 2 las condiciones para la sedimentación se realizaron una agitación de 30 segundos para las cuatro pruebas de 0.150 g/L, 0.108 g/L, 0.081 g/L y 0.054 g/L.

Tabla 5

*Diseño factorial para 2<sup>2</sup> para la sedimentación de sólidos*

Condiciones	Min	Max	Promed.	Min	Max
Concentración (g/L)	0.054	0.15	0.102	-	+
Tiempo (segundos)	25	30	27.5	-	+

En la tabla 3 las condiciones de trabajo se tienen para la concentración del floculante natural se aplicará entre 0.054 g/L a 0.150 g/l con un promedio de 0.102 g/L. mientras que para el tiempo se emplearan 25 segundos, 30 segundos con promedio de 27.5 segundos.

Tabla 6

*Condiciones para las pruebas experimentales de sedimentación*

N°	Codificada		Natural	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
1	-	-	0.054	25
2	+	-	0.15	25
3	-	+	0.054	30
4	+	+	0.15	30
5	0	0	0.102	27.5
6	0	0	0.102	27.5

De la tabla 4 las pruebas de sedimentación realizados se tienen para la primera corrida se tiene 0.054 g/L de floculante en 25 segundos de agitación, segunda prueba con 0.150 g/L de floculante en 25 segundos, tercera prueba con 0.150 g/L en 30 segundos de agitación, cuarta prueba con 0.150 g/L de floculante en 30 segundos y 2 pruebas centrales con 0.102 g/L de floculante en 27.5 segundos.

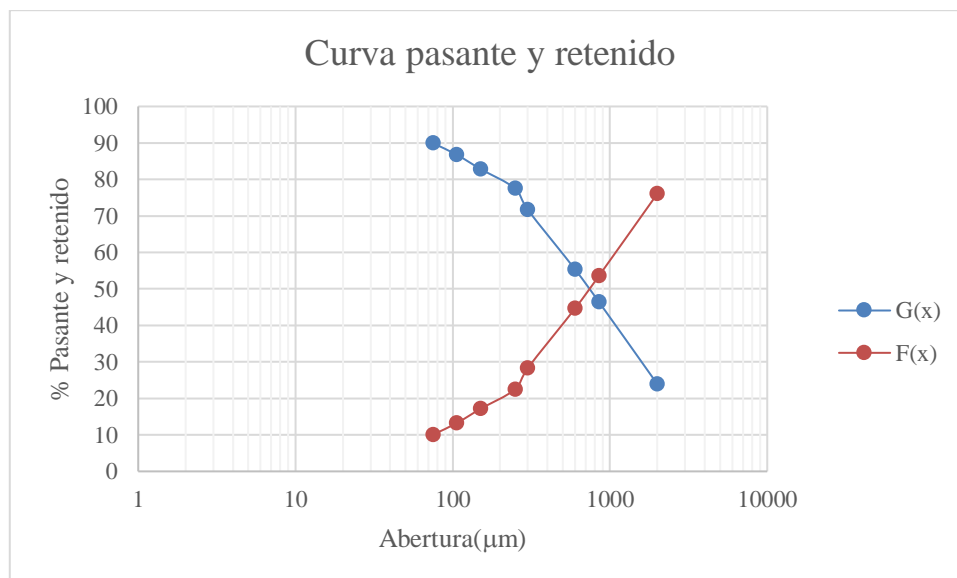
#### 4.1.2. Resultados de la molienda y caracterización del mineral.

Tabla 7  
análisis granulométrico de la muestra de mineral

#Malla	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	Peso(g)	f(x)	G(x)	F(x)
10	2000	47.6	23.92	23.92	76.08
20	850	44.81	22.52	46.45	53.55
30	600	17.69	8.89	55.34	44.66
50	300	32.57	16.37	71.71	28.29
60	250	11.51	5.79	77.49	22.51
100	150	10.72	5.39	82.88	17.12
140	106	7.75	3.90	86.78	13.22
200	75	6.25	3.14	89.92	10.08
-200	0	20.06	10.08	100.00	0.00
TOTAL		198.96	100	D50	750

De la tabla 5 pasante a la malla 200 es solo el 10.08% y el retenido pertenece el 89.92%, con un D50 750  $\mu\text{m}$ .

Figura 2  
Curva de pasante y retenido



En la figura 1 se muestra la curva de retenido y pasante de la muestra del mineral el punto de intersección o D50 es de 750  $\mu\text{m}$ .



### 4.1.3. Resultados obtenidos de la cianuración.

*Tabla 9*  
*Pruebas de cianuración de minerales*

Tiempo (hr)	pH	CaO (g)	NaCN (g)	F <sub>(NaCN)</sub> g/L	C <sub>(NaCN)</sub> g/L
0	11.54	4.03	5.050	1.200	0.000
2	11.58	0.58	0.851	0.200	0.008
4	11.56	0.56	1.250	0.310	0.010
6	11.5	0.45	1.904	0.450	0.009
8	11.51	0.35	1.480	0.350	0.010
10	11.55	0.3	1.900	0.600	0.009
12	11.55	0.1	0.417	0.100	0.012
14	11.5	0.02	0.230	0.050	0.013
16	11.53	0.05	0.220	0.050	0.013
18	11.55	0.025	0.210	0.075	0.013
20	11.52	0.025	0.170	0.039	0.014
24	11.59	0.015	0.042	0.010	0.014
26	11.51	0.09	0.016	0.004	0.014
28	11.45	0	0.004	0.001	0.014
Total		6.595	13.744		

NaCN= 7.24 kg/t

CaO= 3.47 kg/t

De la tabla 2 el tiempo de cianuración es de 28 horas a un pH de 11.5, fuerza de cianuro de sodio de 1.2 g/L (1200 ppm), se controla la fuerza del cianuro de sodio y el pH cada dos horas, el consumo de CaO es de 3.47 kg/t, para el NaCN es de 7.24 kg/t.

#### 4.1.4. Resultados obtenidos de las pruebas de sedimentación.

##### a) Sedimentación con floculante natural en función al tiempo.

*Tabla 10*

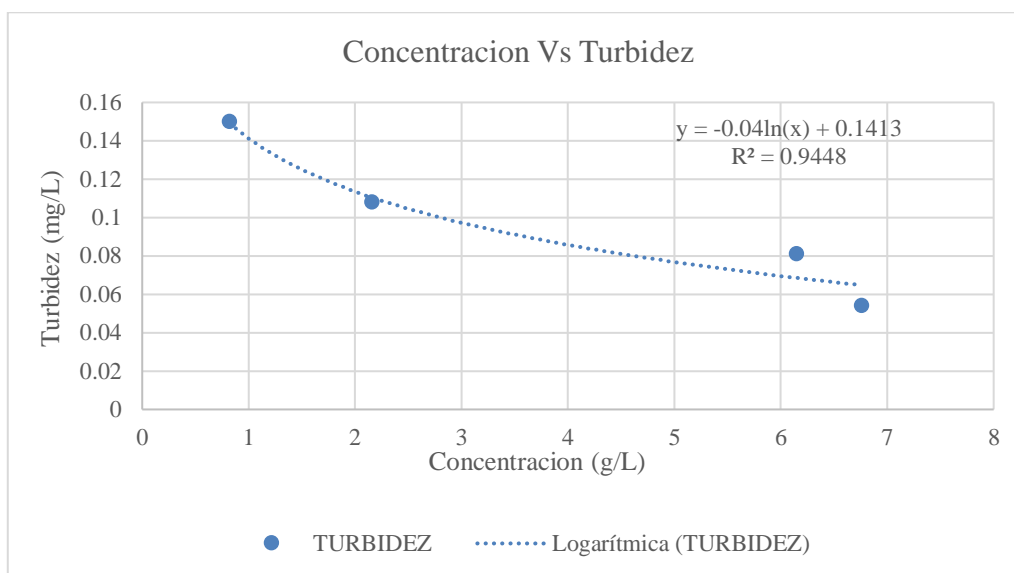
*Sedimentación con floculante natural (tuna).*

Muestra	Concentración (g/L)	$T_{\text{agitación}}$ (seg)	Turbidez (FTU)	Turbidez (mg/L)
1	0.15	30	6	0.82
2	0.108	30	16	2.16
3	0.081	30	48	6.15
4	0.054	30	52	6.76

De la tabla 6 las pruebas de floculación y sedimentación mediante floculante natural se realiza en un tiempo de 30 segundos en la primera prueba se empleó una concentración de 0.150 g/L obteniendo una turbidez en la solución de 6 FTU (0.82 mg/L), con 0.108 g/L se obtuvo 16 NTU (2.16 mg/L), con 0.081 g/L se obtuvo 48 FTU (6.15 mg/L) y con 0.054 g/L se obtuvo 52 FTU (6.76 mg/L).



*Figura 4*  
*Curva de turbidez vs concentración(g/L)*



De la figura 1 la curva de turbidez decrece a medida que se incrementa el floculante natural mucilago de tuna, la ecuación de regresión está representada la Turbidez  $Y(\text{mg/L}) = -0.04\ln(\text{concentración floculante (g/L)}) + 0.1413$  con un  $R^2=0.9448$ , coeficiente de correlacional 0.972.

*Tabla 11*  
*Resultado de las pruebas de diseño factorial 2<sup>2</sup>*

Nº	Codificada		Natural		Resultados
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Turbidez(mg/L)
1	-	-	0.054	25	6.55
2	+	-	0.15	25	1.91
3	-	+	0.054	30	6.15
4	+	+	0.15	30	0.82
5	0	0	0.102	27.5	3.51
6	0	0	0.102	27.5	3.48

En la tabla 7 con una dosificación de 0.054 g/L de floculante natural mucilago de luna en 25 segundos de agitación se obtiene una turbidez de 6.55 mg/L de turbidez, a 0.150 m/L con

floculante natural de mucilago de tuna en 25 segundos se tiene 1.91 mg/L de turbidez, a 0.054 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 30 segundos se tiene 6.15 mg/L de turbidez, con 0.150 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 30 segundos se tiene 0.82 mg/L de turbidez. En las corridas centrales se obtuvo en la primera con 0.102 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 27.5 segundos se tiene 3.51 y la segunda corrida con 0.102 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 27.5 segundos se tiene 3.48 mg/L de turbidez.

**b) Regresión factorial: Turbidez (mg/L) vs. Concentración (g/L); Tiempo(segundos); Pt Central.**

*Tabla 12*  
*Coefficientes codificados Turbidez (mg/L) vs. Concentración (g/L); Tiempo(segundos); PtCentral.*

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		3.8575	0.0106	363.69	0.002	
Concentración (g/L)	-4.9850	-2.4925	0.0106	-235.00	0.003	1.00
Tiempo(segundos)	-0.7450	-0.3725	0.0106	-35.12	0.018	1.00
Concentración (g/L)*Tiempo(segundos)	-0.3450	-0.1725	0.0106	-16.26	0.039	1.00
Pt Ctral		-0.3625	0.0184	-19.73	0.032	1.00

De la tabla 8 el valor de p calculado de la constante se tiene 0.02, mientras que para la concentración(g/L) de adición de floculante natural mucilago de tuna el valor calculado de p es 0.003, para tiempo(segundo) de agitación el valor de p calculado es 0.018 y para la interacción de concentración(g/L) y tiempo(segundos) el valor de p calculado se tiene 0.033. mientras que para los puntos centrales se tiene el calculado 0.032.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0212132	100.00%	99.99%	*

El valor de la desviación s es 0.0212132 con R2 de proceso 100% y R2 ajustada 99.99%.

Tabla 13

Análisis de Varianza Turbidez (mg/L) vs. Concentración (g/L); Tiempo(segundos); PtCentral.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	25.6995	6.4249	14277.49	0.006
Lineal	2	25.4052	12.7026	28228.06	0.004
Concentración (g/L)	1	24.8502	24.8502	55222.72	0.003
Tiempo(segundos)	1	0.5550	0.5550	1233.39	0.018
Interacciones de 2 términos	1	0.1190	0.1190	264.50	0.039
Concentración (g/L)*Tiempo(segundos)	1	0.1190	0.1190	264.50	0.039
Curvatura	1	0.1752	0.1752	389.35	0.032
Error	1	0.0004	0.0004		
Total	5	25.6999			

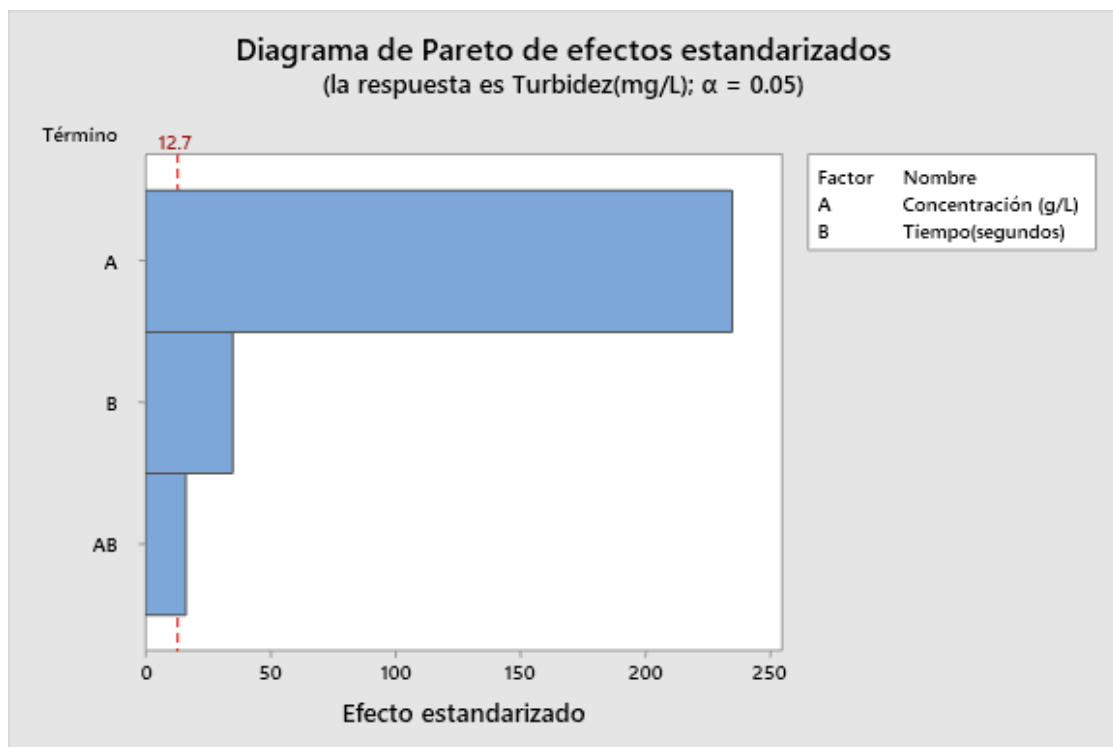
En la tabla 9 el análisis de varianza de la turbidez (mg/L) en relación de la concentración (g/L) de floculante mucilago de tuna y el tiempo(segundos), se tiene para la concentración(g/L) de floculante natural mucilago de tuna el valor calculado de p es 0.003, para tiempo(segundo) de agitación el valor de p calculado es 0.018 y para la interacción de dos términos concentración(g/L) y tiempo(segundos) el valor de p calculado se tiene 0.033. mientras que para los puntos centrales se tiene el calculado 0.032.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas para la clarificación de la solución medidas en unidad de mg/L presente en la solución:

$$\text{Turbidez (mg/L)} = 9.219 - 12.40 \text{ Concentración (g/L)} - 0.00237 \text{ Tiempo(segundos)} \\ - 1.4375 \text{ Concentración (g/L)*Tiempo(segundos)} - 0.3625 \text{ Pt Ctral}$$

Figura 5

Diagrama de Pareto de efecto de la clarificación de la solución.



De la figura 2 el efecto de la concentración y el tiempo, tiene mayor efecto en la clarificación la concentración de floculante natural (g/L), seguido del tiempo(segundos) y de menor influencia la interacción concentración (g/L) y el tiempo(segundo) ya que los bloque A, B, AB son superiores a 12.7.

## 4.2. **Contrastación de hipótesis.**

### 4.1.5. **Contrastación de hipótesis general.**

**H(a):** El extracto mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como floculante natural influye en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio.

**H(o):** El extracto mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como floculante natural **No** influye en el proceso de clarificación de una solución rica de oro de la cianuración de minerales a nivel laboratorio.

El extracto mucílago de la tuna influye estadísticamente en la clarificación de la solución cianurada por las siguientes razones la concentración(g/l) de mucilago influye en la clarificación el valor de p calculado es 0.003, tiempo(segundos) 0.018, en la interacción de concentración(g/L) x tiempo(segundos) es de 0.039 menor a 0.05 tabla 12. Y los valores del bloque A (concentración g/L), B (tiempos segundos), A (concentración g/l) x B (tiempos segundos) del diagrama de Pareto es mayor a 12.7 figura 5. Validando en respuesta a ello la hipótesis alternativa.

### 4.1.6. **Contrastación de hipótesis específico.**

a. **H(a):** La concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna influirá en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro.

**H(o):** La concentración del coagulante natural (mucílago) a partir de los cladodios (pencas) de tuna no influirá en la disminución de la turbidez de la solución rica de la cianuración de oro.

La concentración del coagulante natural mucilago expresado en gramos por litro influye en la clarificación estadísticamente ya que el valor de p calculado 0.003 es

menor a 0.05. predeterminado la hipótesis alternativa tabla 12 y el valor del bloque A del diagrama de Pareto es mayor a 12.7 figura 5.

- b. **H(a):** El tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, tendrá efecto en la clarificación de la turbidez.

**H(o):** El tiempo de agitación del mucílago de nopal como floculante en la solución rica en oro, No tendrá efecto en la clarificación de la turbidez.

El tiempo empleado en la agitación para la clarificación de la turbidez expresado en segundos estadísticamente tiene efecto ya que el valor p calculado 0.018 es menor a 0.05 tabla 12 y el valor del bloque B del diagrama de Pareto es mayor a 12.7 figura 5. Con ello predetermina la hipótesis alternativa.

- c. **H(a):** El tiempo y la concentración floculante natural mucílago de la penca de la tuna, influye en la clarificación de la turbidez final solución rica de oro.

**H(o):** El tiempo y la concentración floculante natural mucílago de la penca de la tuna, No influye en la clarificación de la turbidez final solución rica de oro.

El tiempo(segundos) y la concentración(g/L) del floculante natural mucilago influye estadísticamente en la clarificación de la solución cianurada, el valor calculado de p es 0.039 menor a 0.05 tabla 12 y el valor del bloque AB del diagrama de Pareto es mayor a 12.7 figura 5, por lo que la hipótesis alternativa prevalece.

## CAPITULO V

### DISCUSION

#### 5.1. Discusión de resultados

En la Clarificación de una solución rica de oro usando mucílago de tuna como floculante natural a nivel laboratorio, En las pruebas realizadas de sedimentación experimental en un periodo de 30 segundos en la primera prueba se empleó una concentración de 0.150 g/L obteniendo una turbidez en la solución de 6 FTU (0.82 mg/L), con 0.108 g/L se obtuvo 16 FTU (2.16 mg/L), con 0.081 g/L se obtuvo 48 FTU (6.15 mg/L) y con 0.054 g/L se obtuvo 52 FTU (6.76 mg/L). Se obtuvo una ecuación de regresión representada la Turbidez  $Y(\text{mg/L}) = -0.04 \ln(\text{concentración floculante (g/L)}) + 0.1413$  con un  $R^2=0.9448$ , coeficiente de correlacional 0.972.

Mientras que para un diseño factorial  $2^2$ , con una concentración de floculante natural mucilago con 0.054 g/L, 0.15 g/L y un promedio de 0.102 g/l en 25 segundos, 30 segundos y 27.5 segundos con los que se tiene 4 pruebas y 2 pruebas centrales se obtuvieron dosificación de 0.054 g/L de floculante natura mucilago de luna en 25 segundos de agitación se obtiene una turbidez de 6.55 mg/L de turbidez, a 0.150 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 25 segundos se tiene 1.91 mg/L de turbidez, a 0.054 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 30 segundos se tiene 6.15 mg/L de turbidez, con 0.150 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 30 segundos se tiene 0.82 mg/L de turbidez. En las corridas centrales se obtuvo en la primera con 0.102 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 27.5 segundos se tiene 3.51 y la segunda corrida con 0.102 m/L con floculante natural de mucilago de tuna en 27.5 segundos se tiene 3.48 mg/L de turbidez.

A medida que se incrementa la concentración de mucílago de tuna se tiene una menor turbidez de la solución cianurada proveniente de la cianuración por otra parte (figura 4), el mejor



resultado obteniendo cuando se trabaja con 0.054 g/L de mucilago de tuna en un tiempo de agitación de 30 segundos una turbidez de 0.82 mg/L (FTU) tabla 10.

Mientras que Olivera, Aguas, Mercado, Casas, & Montes (2014) mucilago de tuna tiene una eficiencia de 99.30%, mientras que el alumbre es más eficiente con una agitación de 200 rpm y no cumple las normas colombianas. Por otra parte, Choque (2019) el empleo de floculantes naturales es obtuvo del 99.09% para san pedro, 92.42% para ulliquite y 98.98% para la tuna, incrementado la extracción significativamente al incrementar dosis de coagulante. Mientras que Godoy (2018) en el tratamiento de aguas de rio es mejor el floculante natural de tuna obteniendo 3.34 NTU, que el floculante comercial Copel CS 600 10. NTU. Por otra parte, para Quispe (2012) el mucilago fresco es más eficiente que el mucilago seco y no es posible llegar a una clarificación menor 20 NTU.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones.

En la “Clarificación de una solución rica de oro usando mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural a nivel laboratorio”, se llegaron a las siguientes conclusiones:

En el proceso de clarificación de soluciones cianurada mediante floculante natural mucilago de tuna el mejor resultado se tiene con una dosificación de 0.150 g/L en un tiempo de 30 segundos de agitación, la clarificación se obtuvo una turbidez de 6 FTU 0.82 (mg/L), con la dosificación de floculante natural mucilago de tuna a medida que se incrementa la dosificación disminuye la turbidez.

El extracto mucílago de la tuna influye estadísticamente en la clarificación de la solución cianurada en el análisis de varianza el valor de p calculado es 0.003 para la concentración(g/L), para el tiempo(segundos) 0.018, en la interacción de concentración(g/L) x tiempo(segundos) es de 0.039 menor a 0.05, y los valores del bloque A (concentración g/L), B (tiempos segundos), A (concentración g/l) x B (tiempos segundos) del diagrama de Pareto es mayor a 12.7. Sin embargo, no se llega a obtener por debajo de 1 NTU de turbidez.

#### 6.2. Recomendaciones.

Las recomendaciones para el trabajo realizado la “Clarificación de una solución rica de oro usando mucílago de la penca de tuna (opuntia ficus-indica) como floculante natural a nivel laboratorio” se tienen:

Para llegar una turbidez que estén por debajo de 1NTU para la precipitación de oro con polvo de zinc es necesario realizar más pruebas para llegar al parámetro establecido.

Realizar pruebas experimentales de cinética de precipitación con la finalidad de establecer el tiempo óptimo de la clarificación. Realizar pruebas con una mezcla con otros floculantes.

## CAPITULO VII

### FUENTES DE INFORMACIÓN

#### 7.1 Fuentes Bibliográfica.

Afaro, M. (2002). *Introducción al muestreo de minerales*. Santiago: Instituto de ingeniero de minas de Chile .

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica* (6 ed.). Caracas: Editorial Episteme, C.A.

Arrau, J. (2006). *Manuel General de Minería y Metalurgia*. Santiago: Servicios de Impresión Laser S.A. Obtenido de [www.portalminero.com](http://www.portalminero.com)

Ballestes, A., Verdeja, L., & Sancho, J. (2000). *Metalurgia extractiva* (Vol. I). Madrid: Síntesis.

Barry, W., & James, F. (2016). *Mineral Processing Technology*. Montreal : Elsevier Ltd.

Carrasco, S. (2010). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.

Choque, D., Ligarda, C., Ramos, B., Solano, A., Choque, Y., Peralda, D., & Quispe, Y. (2019). optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Dina*, 90-99. doi:DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v87n212.80467>

Domic, E. (2001). *Hidrometalurgia Fundamento, Procesos y Aplicación*. Santiago de Chile: Autor-Editor genérico.

Godoy, V. (2018). Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna. *Ingeniero Civil*. Universidad Privado del Norte, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13840/Godoy%20Briones%2C%20Ver%20Milagros%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Guevara, J., & Ornelas, J. (2013). *Tecnología Poscosecha y Efectos Biofuncionales del Nopal y la Tuna*. DC Mexico: Trillas.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: McGRAW-HILL.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico DF: McCraw-Hill/Interamerica Editoriales S.A.
- Lozano, L. (2018). Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018. *Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos*. Universidad Pivada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/721/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morejón, B. (2017). Utilización del mucílago de tuna (opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi. *Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales*. Universidad Técnica del Norte Ibarra, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6621>
- Olivera, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70-75. doi:<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- Pellella, S., & Martins, F. (2015). *Metodología de la Investigación Cuantitativo*. Caracas: FEDUPEL.
- Perez, V. (2016). *Procedimientos de muestreo y preparación de la muestra*. Madrid: Editorial Síntesis S. A.

Porras, D. (1997). *Procesamiento de Minerales*. Cerro de Pasco: UNDAC.

Quipe, H. (2012). Aplicación del mucílago extraído de nopal (*Opuntia ficus-índica*) en la clarificación del agua del río Uchusuma. *Ingeniero químico*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tecna. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/529>

Quiroz, I. (1986). *Operaciones unitarias en procesamiento de minerales*. Cusco.

Rodriguez, S., Martínez, H., Órnelas, J., & Garnica, M. (2011). OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*). *Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería*. Obtenido de <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CI-II-71.pdf>

Svarovsky, L. (2000). *Solid Liquid Separation* (4 ed.). Oxford: H B.

Vargas, J. (2015). *Metalurgia del Oro y la Plata*. Lima: Editorial San Marcos.

Wills, B. (1988). *Tecnología de los procesamiento de minerales*. Cambome : Limusa.

# **ANEXO**

## ANEXOS

### A. Matriz de consistencia

#### Evidencia fotográfica del proyecto

##### Chancado de mineral.



##### Análisis granulométrico.



### Densidad del agua



### Densidad de mineral.





**Moliendabilidad.**



**Lixiviación.**



**Sedimentación.**



**Turbidez.**

