

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**TESIS**

**Evaluación metalúrgica a los minerales auríferos  
para la obtención del oro en la Compañía Minera  
Arias S.A – Huasahuasi, Tarma - 2018**

Para optar el título profesional de:

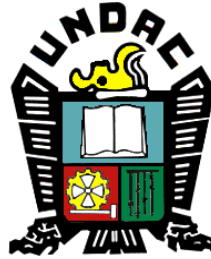
Ingeniero Metalurgista

Autor: **Bach. Yelsin Yonel CORDOVA HUARICAPCHA**

Asesor: **Dr. Sc. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA**

Cerro de Pasco – Perú – 2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
METALÚRGICA**



**Evaluación metalúrgica a los minerales auríferos  
para la obtención del oro en la Compañía Minera  
Arias S.A – Huasahuasi, Tarma - 2018**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

---

**Mg. José Eli CASTILLO MONTALVAN**

**PRESIDENTE**

---

**Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO**

**MIEMBRO**

---

**Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

*Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

### **A MIS PADRES.**

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

## RECONOCIMIENTO

- **A Dios:** Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.
- **A mis Maestros:** Por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales, a mi asesor Dr. Sc. Hildebrando Anival Cóndor García, para la elaboración de esta tesis y por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.
- **Al personal Staff y a los trabajadores de la Compañía Minera Arias;** por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

## RESUMEN

Los procesos de beneficio y tratamiento de minerales auríferos, existentes en la zona minera, conllevan a sistemas poco eficientes con porcentajes de recuperación de oro no mayores al 40%. El presente trabajo es la recopilación de los resultados de análisis y caracterización de minerales auríferos de la Compañía Minera Arias. Con esta investigación, se intenta incentivar a los mineros a realizar un desarrollo compaginado con la universidad, ya que según los resultados obtenidos durante esta investigación, es posible lograr porcentajes de disolución de oro de hasta el 85% para los minerales auríferos. Esta afirmación fue posible proponerla, mediante los análisis de la microscopía y la lixiviación en botella del mineral, fue posible la estimación de ciertas condiciones de los procesos metalúrgicos involucrados en una posible planta de tratamiento, es así que el porcentaje de sólidos más adecuado para el manejo de los sólidos en pulpa fue del 36 % en peso, la alta cantidad de minerales en la labor serpentina superficie, labor serpentina galería y nueva esperanza no encontrando dificultades en los procesos de separación sólido-líquido, entre otros especificaciones operativas. Según la caracterización mineralógica y metalúrgica, el tamaño promedio del oro presente en el mineral, se encuentra a una granulometría menor a 75  $\mu\text{m}$ , esto indica que el proceso de cianuración por agitación resultaría el más adecuado. Los resultados de la lixiviación diagnóstico, arrojaron resultados muy satisfactorios, ya que el 94% del oro en las muestras se encuentra como oro libre, lo cual podrá incidir en tiempos cortos de cianuración.

**Palabras claves:** lixiviación de oro, cianuración, microscopia.

## ABSTRACT

The processes of benefit and treatment of gold minerals, existing in the mining area, lead to poorly efficient systems with percentages of gold recovery not exceeding 40%. The present work is the compilation of the results of analysis and characterization of gold minerals of the Arias Mining Company. With this research, we try to encourage the miners to carry out a development combined with the university, since according to the results obtained during this research, it is possible to achieve gold dissolution percentages of up to 85% for gold minerals. This statement was possible to propose, through the analysis of microscopy and leaching in the bottle of the mineral, it was possible to estimate certain conditions of the metallurgical processes involved in a possible treatment plant, so that the percentage of solids more suitable for the Pulp solids handling was 36% by weight, the high amount of minerals in the surface serpentine work, gallery serpentine work and new hope finding no difficulties in the solid-liquid separation processes, among other operational specifications. According to the mineralogical and metallurgical characterization, the average size of the gold present in the mineral is at a particle size of less than 75  $\mu\text{m}$ , this indicates that the process of cyanidation by agitation would be the most appropriate. The results of diagnostic leaching yielded very satisfactory results, since 94% of the gold in the samples is found as free gold, which may affect short cyanidation times.

**Keywords:** gold leaching, cyanidation, microscopy.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los yacimientos auríferos son beneficiados y extraídos, sin tener conocimiento preciso de las características de los diferentes tipos de mena en que se presenta este metal precioso, esto ha llevado a un desajuste entre los equipos, los procesos y los parámetros operacionales requeridos para el correcto funcionamiento de una planta de extracción. El desconocimiento de esto acarrea una baja recuperación de oro, mal aprovechamiento de los recursos minerales y altos niveles de contaminación de varias zonas mineras de nuestro país. En este artículo se presentan los resultados de la investigación, correspondientes a la caracterización de dos tipos tecnológicos de minerales auríferos, provenientes de la Compañía Minera Arias, ubicada en la región Junín, provincia de Tarma, distrito de Huasahuasi en el Centro Poblado de Santa rosa de Casca, ya que los procesos actualmente implementados por los mineros de esta zona minera (trituration, molienda, amalgamación, cianuración en tinajas (percolación) y cementación con polvo de zinc), conllevan a porcentajes de recuperación no mayores al 40% del oro presente en el mineral. Mediante una correcta caracterización mineralógica, fisicoquímica y metalúrgica de los tipos tecnológicos de mena, compósitos, se plantearon los posibles procesos y algunos parámetros de operación, para lograr porcentajes de recuperación de oro de hasta el 85%, sin el uso del proceso de amalgamación. Un ensayo complementario a las lixiviaciones por agitación en botellas, es la distribución granulométrica del oro.



Para expresar la intención de la investigación manifiesto lo siguiente:

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos de la tesis, importancia, limitaciones y justificación de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, ubicación de la Compañía Minera Arias, Lixiviación y lixiviación de oro. Definición de términos básicos, Hipótesis y variables.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION, se da a conocer la metodología que se aplica para la realización de la investigación y poder demostrar la investigación que, si es factible de realizar, así mismo se da a conocer la población la muestra, principales factores que afectan la lixiviación del oro, tamaño de partícula, concentración de oxígeno, temperatura.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION, en este capítulo se ha considerado la identificación de la muestra desde su procedencia, experimentación y los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## ÍNDICE

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**DEDICATORIA**

**RECONOCIMIENTO**

**ÍNDICE**

**INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO I**

#### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

1.1 IDENTIFICACION Y DETERMINACION DEL PROBLEMA	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. FORMULACION DE OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	5
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	5

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	7
------------------------------	---

2.2. BASES TEÓRICAS-CIENTIFICAS	9
2.2.1. LIXIVIACIÓN	9
2.2.2. TIPOS DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA	14
2.2.3. LIXIVIACIÓN DE ORO	17
2.2.4. PRUEBAS DE CIANURACIÓN	25
2.2.5. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA DISOLUCION DEL ORO	27
2.2.6. TIPOS DE CIANURACIÓN	30
2.2.7. EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA LA CIANURACIÓN	33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	36
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	38
2.4.1. Hipótesis general	38
2.4.2. Hipótesis específicas	38
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	39
2.5.1. Variable dependiente	39
2.5.2. Variable independiente	39
2.5.3. Variables intervinientes	39
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES	40

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2. METODO DE INVESTIGACIÓN	41

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	42
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	44
3.6. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	44
3.7. TRATAMIENTO ESTADISTICO	44
3.8. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	45
3.9. ORIENTACIÓN ETICA	45
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADO Y DISCUSION</b>	
4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	46
4.1.1. LABOR SERPENTINA SUPERFICIE	46
4.1.2. LABOR SERPENTINA GALERÍA	48
4.1.3. NUEVA ESPERANZA	49
4.1.4. PESO TOTAL DE MUESTRAS	51
4.1.5. EXPERIMENTACION	51
4.2. PRESENTACIÓN, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	60
4.2.1. PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DE PH NATURAL Y CONSUMO DE CAL	60
4.2.2. PRUEBAS DE CIANURACIÓN POR AGITACIÓN EN BOTELLAS	62

4.2.3. CINETICA DE EXTRACCIÓN DE ORO	
Y PLATA EN LAS PRUEBAS DESARROLLADAS	64
4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS	75
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>RECOMENDACIONES</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXO</b>	

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

La cianuración se aplica a las menas de oro y plata de alta o baja ley explotadas en bajo volumen por la pequeña minería, o a grandes depósitos de oro de baja ley, explotados por la pequeña, mediana o gran minería debido a sus altos costos de capital y operación.

La minería actual en el Perú estima un % considerable de mineros metalúrgicos artesanales e informales. El cual conlleva a la falta de evaluación en los procesos de recuperación de oro. Es conocido de la mayoría de estas operaciones minero metalúrgicos para recuperar el oro se realizan artesanalmente con poca información teórica y práctico de los procesos y su aplicación en los minerales sin medidas de seguridad con perjuicio de la salud de los mineros y del medio ambiente.

La cianuración consiste en la percolación con una solución diluida de cianuro, o sea, en el paso lento de la solución a través del material poroso del mineral. Las pruebas metalúrgicas pueden ser de mena aurífera triturada, o molida y aglomerada, dispuesta sobre una superficie impermeable, columna o en botellas que permite colectar la solución de cianuro de oro resultante. Sobre la pila se rocía la solución de cianuro diluida, que percola y disuelve los metales preciosos finamente diseminados en el material de la pila. Si es de columna la solución se inyecta en forma de ducha que hace contacto con el mineral hasta pasar la altura de la columna llegando a obtener la solución de cianuro con contenidos de oro diluido, si se desarrolla en botellas se introduce el mineral luego la solución dentro de la botella y se hace rodar por un tiempo determinado luego se separa la parte sólida de la diluida que contiene oro disuelto.

En el caso que se emplea la pila, la solución enriquecida de oro y plata llega al piso impermeable, dispuesto en forma ligeramente inclinada, para que fluya hacia una poza de almacenamiento. Esta poza alimenta con solución al circuito de precipitación oro y plata a partir de los argentos y auro cianuros mediante el proceso Merrill Crowe.

La flexibilidad operativa de la lixiviación por percolación permite tratamientos que pueden durar semanas, meses y hasta años,

dependiendo de los tamaños de la mena y de la pila con que se esté trabajando en forma industrial.

La pequeña minería se enfrenta a grandes problemas mineros dentro de los cuales están los problemas sociales y tecnológicos, es por ello que se va realizar la evaluación de estos minerales que están contenidos en areniscas, óxidos y cuarzo.

## **1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La delimitación se realizó teniendo en cuenta la delimitación espacial y temporal.

### **Delimitación espacial**

La delimitación espacial se realizó en el área de la concesión minera perteneciente a la empresa Minera Arias, ubicado en Huasahuasi Tarma. En la que se realizó el muestreo de muestras de mineral para las pruebas metalúrgicas, constituyendo de esta manera la población para nuestro estudio.

### **Delimitación temporal**

El periodo del estudio en que se realiza la toma de muestras y las pruebas metalúrgicas se realizó en 6 meses del 2018.



### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Problema General**

¿Como la evaluación metalúrgica de los minerales auríferos influye en la obtención del oro y plata de la Compañía Minera Arias Huasahuasi-Tarma 2018?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo el análisis químico del mineral de las labores mineras influye en la caracterización mineralógica del mineral aurífero de la Compañía Minera Arias?
- ¿Se podrá determinar los procedimientos adecuados para la obtención del oro en la Compañía Minera Arias?
- ¿Se podrá hacer la identificación de los métodos de tratamiento para la obtención del oro en la Compañía Minera Arias?

### **1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar la evaluación metalúrgica de los minerales auríferos oro y plata que influye en la obtención del oro y plata de la Compañía Minera Arias Huasahuasi-Tarma 2018.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el análisis químico del mineral procedentes de las labores mineras que influye en la caracterización mineralógica de la Compañía Minera Arias.

- Determinar el método de recuperación del oro y plata para obtener el oro en la Compañía. Minera Arias.
- Realizar pruebas de recuperación con el método elegido para obtener el oro en la Compañía Minera Arias.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación está enmarcada en la lixiviación de minerales auríferos con la finalidad de obtener el oro en la Compañía Minera Arias. Es una investigación de índole tecnológica y preservando el medio ambiente. En su factibilidad económica podremos decir que sí es posible llevar a cabo esta aplicación toda vez que está en constante alza el precio de los metales preciosos en el mundo.

A demás el trabajo es de importancia por que se recupera el metal valioso como oro y plata que va beneficiar a la Empresa Mineras Arias.

### **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio tuvo limitaciones ya que no se contó con todos los equipos y reactivos para realizar el análisis químico, que tuvo que enviarse a realizar el análisis externo. El financiamiento del estudio lo realizo el investigador.



Gráfico 1: Lixiviación de mineral aurífero en botellas. Tomado de google

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

A continuación, se realizó la revisión de estudios realizados en otras instituciones referente al tema en estudio y posteriormente se fundamentó con el marco teórico del estudio.

#### **2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

La lixiviación es una tecnología que promete una minería más limpia y sustentable.

La manera tradicional como se extrae el oro, con el paso de los años, ha sido reemplazado por tecnologías más eficientes y amigables con el medio ambiente, pero se siguen buscando nuevas alternativas que mejoren las condiciones actuales de procesar los minerales.

Una vez que se ha construido con mineral el módulo de lixiviación se procederá a instalar el sistema el cual debe regar la pila con una tasa de riego de  $11 \text{ l/h/m}^2$ , la solución cianurada será bombeada desde los

tres tanques barren (135-tk-001a y 135-tk-002a/b) utilizando 6 bombas goulds centrifugas de 500 HP (135-pu-005a/b/c/d/e/f), las cuales impulsaran un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/h de solución lixiviante hacia el pad de lixiviación.

La solución de lixiviación se distribuye a las celdas desde una manifold de 20" el cual colecta el flujo de las bombas goulds de 500 HP, luego se sigue el siguiente esquema:

- Una tubería principal de polietileno de alta densidad (HDP) de 12" de diámetro.
- Tuberías secundarias de polietileno de alta densidad (HDP) de 8" de diámetro, se extiende desde la tubería principal hacia un lugar más cercano a una celda o módulo de riego.
- De acuerdo al diseño, se conformarán celdas de aproximadamente 80m x 75m (6,000 m<sup>2</sup>) con sus respectivas líneas de flujo y sistemas de riego por aspersion, tomando como inicio la distribución de candelabros fabricados con tuberías de hierro SCH 40 de 8" de diámetro como matriz y con 3 salidas de tuberías de 3". A cada una de estas salidas se conectarán los respectivos sistemas de riego.
- Para el sistema de riego por aspersion, se usarán tuberías yelomine de 3" como tubería matriz y tubería yelomine de 2" como tuberías secundarias donde irán instaladas los aspersores wobler

Nº 7 distanciados cada 6 metros, es decir habrá una malla de riego de 6 x 6 m.

Las variables de operación serán:

- Flujo total de lixiviación es 1500 m<sup>3</sup>/h.
- Concentración de NaCN en la solución de riego 150 ppm.
- pH de la solución 9,5 - 10.
- Concentración de antiincrustante HISA 3214 en la solución de riego 5 ppm.
- Tasa de riego 10-11 l/h/m<sup>2</sup>.
- Altura de 8 m.
- Ciclo de lixiviación de 60 días.

## **2.2. BASES TEÓRICAS CIENTIFICAS**

### **2.2.1. LIXIVIACIÓN**

La palabra **lixiviación** viene del latín: "*Lixivia,-ae*" sustantivo femenino que significa **lejía**. Los romanos usaban este término para referirse a los jugos que destilan las uvas antes de pisarlas, o las aceitunas antes de molerlas. En la actualidad, se denomina lixiviación, al lavado de una sustancia pulverizada para extraer las partes solubles. Se denomina también a una de las formas de obtener oro, para ellos se usa la lixiviación con cianuro a la mena de oro. Esto produce una gran contaminación produciendo el HCN lo cual es encontrado manteniendo el PH entre 9.5 a 10. El procedimiento de

lavado (lixiviación) se hace en pilas gigantes, hasta del tamaño de varios estadios olímpicos, y por desgracia, posteriormente estos residuos pasarán a las capas freáticas de agua que generalmente se ubican en las altas montañas, que es donde están las minas de oro. Una linda palabra, para tan triste explotación mineral.

### **Lixiviación Natural**

La lixiviación produce el desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus, etc.); y es por eso característico de climas húmedos (Pluvisilva, etc.). Esto provoca que los horizontes superiores del suelo pierdan sus compuestos nutritivos, arrastrados por el agua; se vuelvan más ácidos, ya que queda compuestos insolubles (Aluminio); y a veces, también se origine toxicidad. También se pierden grandes cantidades de fertilizantes, al igual que los compuesto nutritivos.

En climas muy húmedos, la vegetación natural (sobre todo la forestal) sirve de protección contra lixiviación. Cuando el hombre la destruye, este proceso se acelera considerablemente y la retención de nutrientes en la zona radical se interrumpe (ya no hay raíces). Otras formas de contribuir a la lixiviación son mediante el empleo de fertilizantes con elevada acidez, el riego excesivo y cultivos que retienen muchos nutrientes del suelo. Este proceso se ve asociado también a los fenómenos de Meteorización

Otro efecto de este proceso natural se produce cuando determinadas concentraciones de sustancias y componentes tóxicos que se encuentran en el suelo, al entrar en contacto prolongado con el agua, se difunden al medio y lo agreden.

### **Lixiviación Química Minera**

La lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

En los yacimientos de cobre de minerales oxidados, el proceso de obtención de cobre se realiza en tres etapas que trabajan como una cadena productiva, totalmente sincronizadas:

Lixiviación en pilas.

Extracción por solvente.

Electro obtención.

Primera etapa: lixiviación en pilas

Las pilas deben ser regadas con una solución de ácido sulfúrico, la que circula por cañerías distribuidas homogéneamente.

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una



disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales son sensibles al ataque de soluciones ácidas:

- a) Chancado: el material extraído de la mina (generalmente a tajo abierto), que contiene minerales oxidados de cobre, es fragmentado mediante chancado primario y secundario (eventualmente terciario), con el objeto de obtener un material mineralizado de un tamaño máximo de 1,5 a  $\frac{3}{4}$  pulgadas. Este tamaño es suficiente para dejar expuestos los minerales oxidados de cobre a la infiltración de la solución ácida.
- b) Formación de la pila: el material chancado es llevado mediante correas transportadoras hacia el lugar donde se formará la pila. En este trayecto el material es sometido a una primera irrigación con una solución de agua y ácido sulfúrico, conocido como proceso de curado, de manera de iniciar ya en el camino el proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados. En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcidor gigantesco, que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: la pila de lixiviación. Sobre esta pila se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que van cubriendo toda el área expuesta.

Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de

drenes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.

- c) Sistema de riego: a través del sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución ácida de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre, la que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas.

El riego de las pilas, es decir, la lixiviación se mantiene por 45 a 60 días, después de lo cual se supone que se ha agotado casi completamente la cantidad de cobre lixiviable. El material restante o ripio es transportado mediante correas a botaderos donde se podría reiniciar un segundo proceso de lixiviación para extraer el resto de cobre.

De la lixiviación se obtienen soluciones de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) con concentraciones de hasta 9 gramos por litro (gpl) denominadas PLS que son llevadas a diversos estanques donde se limpian eliminándose las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas. Estas soluciones de sulfato de cobre limpias son llevadas a planta de extracción por solvente.

## **2.2.2. TIPOS DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA**

### **Concentración gravitacional**

Es el término generalmente usado para describir aquellas operaciones donde mezclas de partículas de distintos tamaños, forma y pesos específicos, son separadas unas de otras por medio de la fuerza centrífuga.

Su principio se basa en los efectos del peso específico sobre el asentamiento diferencial de las partículas en un fluido. Es un hecho que las partículas livianas y planas se depositan lentamente y las partículas pesadas y esféricas caen más rápidamente. El fundamento del proceso gravitacional es la diferencia del Peso específico entre los diferentes minerales a separar.

La molienda de las menas debe ser lo suficientemente fina como para liberar los minerales valiosos de la ganga.

Si partes de la ganga están unidas aun a partículas de mineral valioso, disminuye el peso específico de la partícula y con esto la efectividad de los métodos de clasificación. El desarrollo tecnológico en maquinarias que aplican este principio es incesante.

Podríamos hacer una pequeña reseña sobre algunos de estos equipamientos:

### **Concentrador en espiral**

El principio del espiral está basado en el principio de concentración a través de un flujo laminar, en el hecho que una partícula se desliza en un canal circular a través de una corriente de fluido (agua), está sujeta por lo menos a cuatro fuerzas a saber:

- Fuerza gravitacional
- Fuerza centrífuga
- Empuje del líquido
- Roce contra el fondo del canal

Cuando la pulpa corre hacia abajo por el canal en espiral de sección semi circular cada partícula está sujeta a la fuerza centrífuga tangencial al cauce. Esta fuerza es directamente proporcional al radio en donde está ubicada la partícula.

La fuerza centrífuga empuja al líquido hacia la periferia de la espiral hasta que la corriente de la pulpa alcanza el equilibrio entre la fuerza centrífuga y la de gravedad.

En tal caso la velocidad del flujo a través de la espiral decrece con la profundidad, siendo máxima en la superficie del líquido y tendiendo a cero hacia el fondo. Esta disminución proporcional de la aceleración es mayor en la cercanía del contacto pulpa - superficie del canal, formando sobre él una

película de fluido retardado por el roce. Dicho efecto hace disminuir la fuerza centrífuga y las partículas decantadas en el fondo son llevadas hacia el interior del canal, mientras que las más livianas son arrastradas hacia la superficie.

En resumen, la fuerza resultante que lleva la partícula pesada hacia el interior del canal es la resultante de las cuatro fuerzas nombradas con anterioridad.

Variables operativas:

- Alimentación sobre 8 toneladas por hora de sólido.
- Porcentaje de sólido en la pulpa aproximadamente el 60 % en peso.
- Granulometría de alimentación desde 0,003 mm a 2 mm.
- Volumen máximo de pulpa cercano a 5 m<sup>3</sup>/hora.

### **Jigs (vibración)**

Es un tipo de concentrador gravitacional mecánico, en donde una cama de partículas (de diferentes tamaños, formas y densidades específicas) es fluidizada por un chorro de agua intermitente (en dirección vertical).

Este proceso aprovecha la velocidad de caída de los sólidos, las partículas más pesadas caen más rápido y logran recorrer mayores distancias que las más livianas. Al subir el fluido da un

impulso a las partículas, donde las más livianas alcanzan mayores alturas (menor inercia).

Después de repetidos impulsos se forma una camada de partículas ordenadas según su densidad. Las más densas se ubican el fondo y las más livianas en la superficie.

Lo esencial en el funcionamiento de este equipo es la estratificación de partículas según sus densidades. Pueden considerarse tres factores que contribuyen a la estratificación, ellos son:

1. Clasificación por caída contrariada.
2. Diferencia de aceleración.
3. Consolidación de los estratos (compactación de la cama de mineral).

### **2.2.3. LIXIVIACIÓN DE ORO**

El proceso comienza con la trituración y aglomeración de la mena aurífera del yacimiento Oro, a continuación, se lixivia el aglomerado con solución débil de cianuro obteniéndose el licor rico, del que se precipitan el oro y la plata usando polvo de zinc (Merrill Crowe); el precipitado se somete a fundición de la cual se obtiene el metal Doré (Au/Ag) y tratamiento de todos los residuales [2].

El cianuro establece fácilmente enlaces con la mayoría de los metales como el oro, el cobre, el zinc, el mercurio, el hierro, etcétera.

Con los metales, forma lo que se llama "complejos metalcianuro", generalmente muy solubles en agua, y de estabilidad variable.

Esta propiedad clave del cianuro es aprovechada en la minería para extraer metales como el oro o la plata, por lo que ha sido utilizado en la extracción de metales desde 1887 y actualmente se le utiliza y maneja en forma segura en la recuperación de oro en todo el mundo. Las operaciones mineras para la extracción de oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio, típicamente entre 0,01% y 0,05 % de cianuro (100 a 500 partes por millón).

El cianuro de las soluciones mineras se recoge, ya sea para ser reciclado o destruido, después de haber extraído el oro. El manejo de los riesgos asociados al uso del cianuro implica una ingeniería sólida, un monitoreo cuidadoso y buenas prácticas de manejo con el fin de evitar y mitigar los posibles escapes de cianuro al ambiente

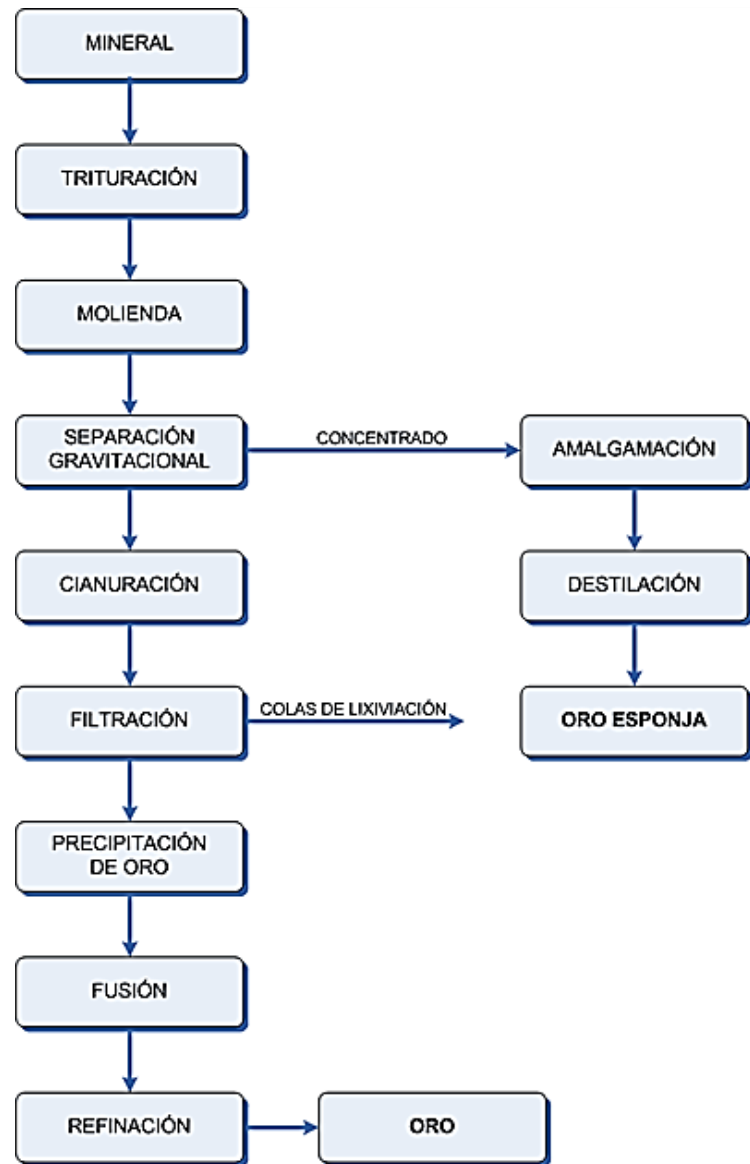


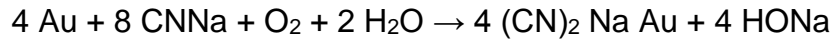
Gráfico 2. Proceso de extracción del oro por medio de la lixiviación  
Fuente: Textos científicos

### Cianuración

La cianuración es un proceso que se aplica al tratamiento de las menas de oro, desde hace muchos años.

Se basa en que el oro nativo, plata o distintas aleaciones entre estos, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas diluidas, regidas por la siguiente ecuación:





Esta fórmula es conocida como la ecuación de ELSNER.

Las principales variantes de lixiviación son:

1. La lixiviación por agitación.
2. La lixiviación por percolación.

### **Lixiviación por agitación**

La mena molida a tamaños menores a las 150 mallas (aproximadamente tamaños menores a los 105 micrones), es agitada con solución cianurada por tiempos que van desde las 6 hasta las 72 horas. La concentración de la solución cianurada está en el rango de 200 a 800 ppm (partes por millón equivale a gramos de cianuro por metro cubico de solución).

El pH debe ser alto, entre 9.5 a 10, para evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis (generación de gas cianhídrico, CNH, altamente venenoso) y para neutralizar los componentes ácidos de la mena.

Para evitarlo lo anterior se usa cal, para mantener el pH alcalino. Se adiciona lo necesario para mantener la concentración de oxígeno libre en la solución por encima 100 g/m<sup>3</sup>.

La velocidad de disolución del oro depende entre otros factores, del tamaño de la partícula, grado de liberación, contenido de plata.

Es la práctica común, remover el oro grueso (partículas de tamaño mayores a 150 mallas o 0,105 mm), tanto como sea posible, mediante concentración gravitacional antes de la cianuración, de manera de evitar la segregación y pérdida del mismo en varias partes del circuito.

Es de suma importancia, aparte de determinar la naturaleza de los minerales de oro, poder identificar la mineralogía de la ganga, ya que esta puede determinar la efectividad o no de la cianuración. Esto porque algunos minerales de la ganga pueden reaccionar con el cianuro o con el oxígeno, restando de esa manera la presencia de reactivos necesarios para llevar adelante la solubilización del oro.

Se realizan ensayos a escala laboratorio, con el objeto de determinar las condiciones óptimas para el tratamiento económico y eficiente de la mena.

Las variables a determinar son las siguientes:

1. Consumo de cianuro por tonelada de mineral tratado.
2. Consumo de cal por tonelada de mineral tratado.
3. Óptimo grado de molienda.
4. Tiempo de contacto, ya sea en la lixiviación por agitación como en la lixiviación por percolación.
5. Concentración más conveniente del cianuro en la solución.
6. Dilución más adecuada de la pulpa.

El circuito de recuperación de oro y plata, desde las soluciones cianuradas diluidas las que contienen los metales nobles en solución, puede ser de dos tipos preferentemente, a saber:

- Adsorción con carbón activado.
- Cementación de oro con zinc.

### **Adsorción con carbón activado**

Los carbones activados se utilizan por su estructura granular, los que tienen una gran superficie específica, las que permiten un alto grado de adsorción del oro y la plata, desde las soluciones cianuradas ricas a la superficie de estos carbones. A nivel industrial el método de adsorción por carbón activado es el más usado.

El carbón activado se fabrica a partir de la corteza del coco debido a su dureza lo que lo hace más resistente a la abrasión y la rotura, además su capacidad de adsorción es mayor que otros carbones activados fabricados a partir de otros materiales.

En estas operaciones se hacen pasar las soluciones que percolan de las pilas de lixiviación, por 5 o 6 columnas, las que en su interior contienen el carbón activado.

Las columnas en contacto con las soluciones cianuradas son periódicamente rotadas para tener un mayor aprovechamiento de la capacidad de adsorción del carbón.

La alimentación de las columnas se hace en contracorriente las que mantienen las partículas de carbón en suspensión evitando que el lecho se compacte.

La cantidad de oro que puede cargar un carbón activado depende de la cantidad de cianuro libre que haya en la solución, las impurezas y del pH de la solución, como así también del tiempo de contacto o dicho de otra forma del flujo de alimentación.

La primera columna que se contacta con la solución es retirada periódicamente y rotadas las restantes, agregándose al final una nueva columna con carbón descargado.

El oro adsorbido sobre el carbón activado es extraído del mismo, mediante una solución alcalina de sulfato de sodio o bien una solución cianurada en caliente.

El oro que contendrá esta última solución cianurada, se puede recuperar mediante electrólisis y luego purificarlo (refinado).

Al carbón descargado, se le realiza un proceso de reactivación, el que consiste en eliminar los carbonatos y sílice presente, mediante

el lavado con solución de ácido nítrico diluido en caliente y soda cáustica, para luego someterlo a una etapa de reactivación en un horno elevando su temperatura entre los 600 C° y 650 C°, durante treinta minutos en una atmósfera pobre en oxígeno, a fin de eliminar las materias orgánicas contaminantes sin producir una combustión.

### **Cementación de oro con zinc**

También llamado método Merrill – Crowe, es otro de los métodos de recuperación usados, el proceso que se realiza es el siguiente:

1. A la solución enriquecida en oro que proviene de la percolación en las pilas de lixiviación, se la filtra.
2. A esta solución se le extrae el oxígeno disuelto, mediante una columna de desoxigenación, (vacío).
3. A esta solución filtrada y desoxigenada se la pone en contacto con el polvo de zinc.
4. Por un proceso redox, el Zn pasa a la solución oxidándose, entregando electrones que son captados por los átomos de oro que se encuentran en estado de catión con una carga positiva ( $\text{Au}^+$ ), el que se reduce sobre la partícula de Zn.
5. Se recupera mediante filtrado el cemento de oro y plata, las que tienen el oro depositado en su superficie. A este se le llama precipitado de Zn.

6. Luego se funde y se obtiene un bullón, lo que no es otra cosa que una aleación de oro, plata, cobre y zinc.
7. A este bullón se pasa a un proceso de refinación para obtener el oro 24 quilates, que es oro sellado.

Retomando el tema anterior de la lixiviación por percolación vemos que se deberá tener en cuenta ciertos aspectos:

#### **2.2.4. PRUEBAS DE CIANURACIÓN**

##### **Preparación del mineral**

Los minerales poco permeables a las soluciones deben ser triturados para mejorar la exposición al ataque químico de las soluciones. El grado óptimo de trituración se determina con la realización de ensayos de lixiviación en columnas a escala laboratorio. Estas pruebas también revelan la cantidad de cal que se le debe agregar para neutralizar los componentes ácidos de las menas, evitando de esa manera la destrucción de  $\text{CNNa}$  por hidrólisis por ende la generación de ácido cianhídrico, el cual es altamente venenoso.

##### **Aplicación de la solución**

La técnica más difundida es la de esparcir la solución mediante operaciones de goteo o rocío con tuberías plásticas perforadas. La decisión a favor de la lixiviación en pila solo puede tomarse luego de un análisis basado en el comportamiento metalúrgico de la mena estudiada.

Se evaluarán las siguientes relaciones:

1. Grado de trituración vs. Percolabilidad.
2. Consumo de reactivo vs. Recuperación de oro.
3. Consumo de reactivos vs. Concentración de reactivos.

### **Lixiviación en botella**

El nombre prueba en botella, proviene del hecho de emplear una botella plástica de 10 lts de capacidad, lo cuales hace posible emplear una cantidad de mineral de 1000 g y 33 % sólidos. Esta botella se coloca a girar en rodillos, los cuales, proporcionan una velocidad de 55 rpm.

Cada cierto tiempo (se define según el tipo de mineral) se medirá el pH de la pulpa mineral, adicionando cal cada vez que se requiera para restablecer el pH de referencia. El término de la experiencia, generalmente está previsto a las 72 horas. Si al cabo de este tiempo, el mineral aun consumiera cal, se continuará con el ajuste de alcalinidad hasta que este parámetro no tenga fluctuaciones durante 4 horas. Alcanzado este punto, se detendrá la agitación y se realizará la contabilidad de cal adicionado, expresándolo en unidades de Kg de cal mineral seco.

En el caso de los minerales mixtos y sulfurados, el control de  $Fe^{+++}$  se realiza en forma más permanente durante las primeras horas, luego

se medirá en el muestreo respectivo la concentración de  $\text{Fe}^{\text{T}}$  y  $\text{Fe}^{\text{++}}$ , mediante lo cual se calcula el consumo de  $\text{Fe}^{\text{+++}}$ , cuya cantidad se agrega a la botella para mantener la concentración de  $\text{Fe}^{\text{+++}}$  constante en 6 g/l. La cantidad agregada de férrico se registra en cada oportunidad.

### **2.2.5. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA DISOLUCIÓN DEL ORO**

Los factores que afectan la disolución del oro son los siguientes:

- Tamaño de partícula
- Concentración de cianuro
- Concentración de oxígeno
- Temperatura
- Alcalinidad
- Ph

#### **a) Tamaño de partícula**

Cuando en minerales se encuentra oro libre y grueso, la práctica usual es separarla por medios gravimétricos, antes de la cianuración, de lo contrario, las partículas gruesas no podrán ser disueltas completamente en el tiempo disponible para llevar a cabo el proceso de cianuración. Otra práctica para reducir el tamaño de los minerales de oro, es la molienda y clasificación de los minerales de oro en circuito cerrado, donde las partículas de oro grueso son reducidos de espesor y quebrantadas, logran rebosar del clasificador.



## b) Concentración de oxígeno

El uso del oxígeno es indispensable para la disolución del oro, bajo condiciones normales de cianuración. Múltiples pruebas han demostrado que una adecuada aireación dan buenos resultados como lo hacen los oxidantes químico. Barsky, Swainson y Hedley, determinaron la velocidad de disolución del oro en soluciones de 0,10% de NaCN, a 25° C usando Oxígeno, Nitrógeno y mezcla de ambos.

**Tabla 1:** Efecto del oxígeno sobre la velocidad de disolución del oro

<b>% Oxígeno</b>	<b>Disolución del Au (mg/cm<sup>2</sup>/h)</b>
0,00	0,04
9,00	1,03
20,90	2,36
60,10	7,62
99,50	12,62

Fuente: Laboratorio químico metalúrgico

## c) Temperatura

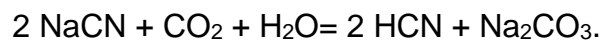
El suministro de calor a la solución de cianuro en contacto con oro metálico, produce fenómenos opuestos que afectan la velocidad de disolución. El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por consiguiente la velocidad de disolución del oro, al mismo tiempo, la cantidad de oxígeno en la solución disminuye porque la solubilidad de los gases decrece con el aumento de la temperatura. En la práctica el uso de soluciones calientes para

la extracción del oro, resulta desventajosa por el elevado costo, por lo que usualmente, se lixivia a temperatura ambiente

**d) La alcalinidad de la solución- pH**

El uso de la cal (en solución) para mantener un pH de 9.5 a 10 (alcalinidad protectora) cumple las funciones de:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis: ( $\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCN} + \text{NaOH}$ ), haciendo que la reacción sea favorecida hacia la izquierda.
- Prevenir o evitar las pérdidas de cianuro por acción de dióxido de carbono del aire



- Neutraliza los componentes ácidos resultantes de la descomposición de los diferentes minerales de la mina en la solución de cianuro.
- Neutraliza los componentes ácidos tales como sales ferrosas, férricas y el sulfato de magnesio contenidos en el agua antes de adicionar al circuito de cianuración.
- Facilita el asentamiento de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica clara de la mena cianurada.

## **2.2.6. TIPOS DE CIANURACIÓN**

- Percolación, que se realiza en Vats y en pilas (Pruebas en columna)
- Agitación (Pruebas en botella)

### **a) Pruebas Preliminares**

Antes de que un mineral sea sometido a pruebas de docilidad al proceso de cianuración debería ser sometido a un examen preliminar con el fin de conocer sus características físicas y químicas. El conocimiento así obtenido será de un valor importante para preparar un buen programa de pruebas y poder bosquejar métodos especiales de ataque.

El desarrollo de estas pruebas permite definir la “lixiviabilidad” de un determinado mineral.

Los resultados obtenidos, proveen información inicial acerca de la recuperación de los metales preciosos, radio de extracción y requerimiento de reactivos

### **b) Examen Del Mineral**

Un buen examen de mineral proporciona conocimiento aproximado sobre la necesidad de tratar el mineral por cianuración directa o en combinación con otro proceso (amalgamación), flotación o concentración gravimétrica.

El mineral objeto de este trabajo de tesis se tritura y cianura directamente. Una muestra representativa es tomada desde el mineral en estudio. El tamaño de esta muestra dependerá de la cantidad de mineral disponible pero no debe exceder de 1,1 a 2,2 Kg. Si el mineral está en terrones más gruesos que 1 pulgada, el examen puede revelar la naturaleza del mineral y la ganga, el grado de cristalización, el grado al cual el chancado puede ser requerido para una efectiva liberación. A partir de tal procedimiento, puede obtenerse una información según la conveniencia para algún tratamiento, tal como amalgamación concentración, (gravedad o flotación) antes de la cianuración. También se tendrá alguna indicación como el grado de molienda necesario. Después de ser molido el mineral a un tamaño apropiado se lleva a cabo el muestreo respectivo para análisis. Este tamaño dependerá de varios factores, tales como la naturaleza y cantidad del material. Es esencial que la muestra para análisis sea enteramente representativa. La cantidad de trabajo analítico efectuado dependerá del grado de las pruebas llevadas a cabo.

**c) Análisis de Mallas**

Un análisis de malla del mineral a menudo suministrará información del valor considerable. Este puede comenzar a malla 20 e incluir el rango de tamaño hasta la malla 325. Una

porción de cada tamaño de malla deberá ser analizada por oro y plata.

**d) Análisis Químico**

Consiste en realizar un análisis químico de oro y plata a cada fracción de mineral resultante del tamizaje del material representativo. Este análisis permite calcular la distribución porcentual del contenido metálico de ambos elementos por mallas. Lo que hace posible poder obtener una extracción por malla de Au y Ag, al realizar la misma operación con los ripios después de la cianuración

**e) Pruebas Rápidas de Cianuración**

Uno de los procesos utilizados, consiste en:

- Secar a 110°C una pequeña cantidad de muestra.
- Pesar 5 g e introducir en un tubo de ensaye.
- Adicionar 10 cc de solución de cianuro al 0,3% (3 g/l).
- Agitar para el mezclado durante 15 minutos.
- Centrifugar por 5 minutos.
- Calibrar y estandarizar el equipo de Absorción Atómica para la lectura.
- Reportar el análisis.
- Drenar la solución sobrenadante de la pulpa.
- Descargar los sólidos.

#### **f) Prueba de Cianuración En Botella**

Las pruebas de cianuración en botellas son efectuadas para obtener información preliminar sobre el consumo total de reactivos que intervienen en el proceso de lixiviación tales como el NaCN, CaO; así mismo se puede predecir el porcentaje de recuperación en Au y Ag que podamos obtener.

#### **2.2.7. EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA LA CIANURACIÓN**

- Molino Batch.
- Ro-tap.
- Sistema de agitación de rodillos, con capacidad para 8 botellas.
- Balanzas digital y analítica de 0,01 mg y 0,000001 mg.
- Vasos de precipitado.
- Soporte universal.
- Bureta.
- Probeta de 50 ml.
- Matraz Erlenmeyer.
- Embudo.
- Jeringas.
- Micro pipeta.
- Botella de vidrio.
- pH metro digital.
- Cinta de medición de pH.
- Papel periódico (para filtrar).
- Guantes quirúrgicos.

- Mineral aurífero.
- Cal (regulador de pH).
- NaCN (solvente).
- KI (indicador).
- AgNO<sub>3</sub> (titulante).

## **PROCEDIMIENTO**

Procedimiento que se usa en laboratorio desarrollado por encargados del mismo. Esta prueba determina en forma rápida el consumo de reactivos de cal y cianuro, y el porcentaje de recuperación de oro y plata todos en función del tiempo expresado en horas. Las botellas se ponen a agitar en el equipo, en forma continua durante los tiempos solicitados, o el tiempo hasta que deje de consumir reactivos como fue el caso de esta prueba. Se tiene botella testigo para control y botella de manipulación para determinar el consumo de reactivos; evitando pérdidas que podrían afectar el balance metalúrgico.

**Tabla 2. Parámetros de prueba metalúrgica**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Mineral	Característica	Óxido
Peso del mineral	Kg	1,0
Acidez del mineral	pH	6,5
Dilución	w/w	2 a 1
Fuerza de NaCN	ppm	1000
Solución básica	pH	10
Tiempo de agitación	Horas	53
Fecha de inicio	d/m/a	26/04/2018
Hora	24 horas	11.15 a.m.

Fuente: Laboratorio químico metalúrgico

1. Triturar el mineral molerlo por 20 minutos en un molino batch de bolas.
2. Tamizar el mineral con un cedazo # 100, desechar el retenido y usar el pasante en la prueba.
3. Determinar la acidez del mineral para agregar cal protectora: pesar 50 g de mineral fino (obtenido en el paso anterior) y mezclarlo con 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitados, luego medir el pH e la pulpa y finalmente ir agregando cal de 0,1 en 0,1 g hasta alcanzar un pH comprendido entre 9,5 y 10.
4. Pesar 250 g de mineral fino obtenido en el paso 2 y adicionar en una botella adecuada; agregar 500 ml de agua; agregar la cal necesaria para proteger 250 g de mineral. Luego de acuerdo a la fuerza de cianuro con la que se va a trabajar, agregar cianuro sólido para obtener la ppm's necesarios.
5. Homogenizar toda la mezcla mediante agitación manual.
6. Colocarlo sobre el sistema de rodillos.



7. Después de una hora. Retirar la botella del sistema, extraer de ella una muestra adecuada de ml de pulpa (que puede variar de 50 a 75 ml) y colocarlo en una vaso de precipitados para que se clarifique un poco; regresar la botella a su lugar; medir el pH de la pulpa parcialmente clarificada; con una micropipeta, retirar 10 ml de solución clarificada y colocarlo en un matraz de 100 ml; titular la solución cianurada con una solución de  $\text{AgNO}_3$  y anotar el gasto, determinar el % de NaCN libre, la cantidad de cianuro y agua reponer; realizar la reposición.
8. De acuerdo al análisis de cianuro, repetir el paso 7 cada cierto tiempo.
9. Reportar todos los datos obtenidos en una tabla.
10. Determinar el consumo de cal y cianuro en kg/TM de mineral.

Se determinó el cianuro libre (ppm) cada hora durante la primera hora, luego a 5, 8, 46 y 53 horas.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.**

**Características de las menas.** Los contenidos de oro en las menas que se someten a trituración y molienda para la cianuración por agitación deben ser superiores a un gramo de oro por tonelada.

**Molienda.** En el proceso de lixiviación con agitación, la mena es triturada y molida hasta convertirla en polvo de tamaños menores a

los 105 micrones (0,105 mm). La mena fina en forma de pulpa por tuberías a una serie de tanques de lixiviación.

**Cianuración.** Las menas molidas se agitan con soluciones de cianuro de sodio desde 6 hasta 72 horas. La solución cianurada se usa en concentraciones de 200 a 800 partes por millón (ppm). La concentración de una solución de cianuro, varía de 0,5 a 15 gramos de oro por metro cúbico de solución.

Esta agitación se hace mecánicamente, y con inyección de aire, para lograr un mayor contacto entre la pulpa y la solución de cianuro. Esto mejora el rendimiento de la lixiviación. El cianuro disuelve el oro de la mena en forma de un complejo estable de oro y cianuro.

La velocidad de disolución del oro depende de tres factores importantes: tamaño de la partícula, grado de liberación del oro de la mena y contenido de plata.

**Neutralización de cianicidas.** La mena molida puede necesitar una preparación previa, como la oxidación, para oxidar los sulfuros cianicidas antes de agregar el cianuro. Así se neutralizan las especies consumidoras de cianuro que se encuentran en la mena.

**Alcalinización de la solución.** El pH de la mezcla, polvo - agua se regula entre 9.5 a 10 con cal, en el circuito de lixiviación, para neutralizar los componentes ácidos de la mena, y así cuando se

agregue el cianuro, no se gaste en la formación de cianuro de hidrógeno gaseoso y tóxico, sino solamente en la disolución del oro.

**Lixiviación en botella.** La prueba estándar de lixiviación en botella se emplea como test indicativo, donde se obtiene la información del consumo de reactivo lixivante y la recuperación del elemento de interés. En estas pruebas se emplea muestras provenientes de testigos de sondajes de minerales mixtos y sulfurados.

## **2.4. FORMULACIÓN HIPOTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Evaluando metalúrgicamente a los minerales auríferos podemos determinar la influencia de los parámetros en la obtención de oro de la Compañía Minera Arias Huasahuasi – Tarma 2018

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Si realizamos una buena caracterización mineralógica del mineral aurífero obtendremos oro en la Compañía Minera Arias.
- Si determinamos el método adecuado de lixiviación entonces podemos obtener el oro en la Compañía Minera Arias.

- Si con las pruebas de lixiviación con el método elegido entonces podemos obtener el oro en la Compañía Minera Arias.

## **2.5. IDENTIFICACION DE VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Obtención de oro en la Compañía Minera Arias

### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Evaluación metalúrgica a los minerales auríferos

### **2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES**

- Granulometría
- Cal
- pH
- Lixiviación en botella

## 2.6. DEFINICION OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

Tabla 3. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEM
<b>Variable Independiente</b>	Análisis químico del mineral	Análisis de mineral	Análisis  químico
Evaluación metalúrgica a los minerales auríferos	Método de recuperación del oro y plata	Tipo de Lixiviación	Determinar métodos de lixiviación
	Pruebas metalúrgicas con el método elegido	% de extracción del oro y plata	Pruebas batch de lixiviación
<b>Variable Dependiente</b>	Extracción de oro	Oro y plata recuperado	Porcentaje de recuperación
Obtención de oro en la Compañía Minera Arias			

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.1. Tipo de Investigación

Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y la naturaleza del problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el tipo de **investigación cuasi-experimental**, porque permite responder a los problemas planteados, de acuerdo a la lixiviación de los minerales auríferos para la obtención del oro, describiendo y explicando las causas y efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales.

#### 3.2. Método de Investigación

El presente trabajo de Investigación, por tener una naturaleza de carácter práctico, ha sido objeto del empleo del método **Aplicativo**, a fin de conocer sobre la aplicación de la disolución del oro mediante la lixiviación de minerales auríferos, habiéndose para el

efecto realizado el estudio correspondiente de las variables independiente y dependiente.

### **3.3. Diseño de la Investigación**

El diseño empleado en la presenta Investigación es el de carácter **experimental**; metodología que permite establecer la relación existente en la evaluación metalúrgica a los minerales auríferos con la finalidad de la obtención del oro, considerado como variable dependiente, teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como **experimental**. Para cumplir con la metodología y diseño de la investigación, el control de las pruebas experimentales se llevará a cabo mediante una observación controlada de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **POBLACIÓN**

Como población de estudio se ha considerado las reservas probadas y probables que tiene la Compañía Minera Arias que reportó en el sondeo, pruebas metalúrgicas recursos tomando en cuenta en sus reservas probadas y probables (P + P) de oro en minerales auríferos en esa compañía minera. Así, las reservas de la compañía en dicho proyecto ubicado en el Centro poblado Santa Rosa de Casca llegaron

a 1,08 millones de onzas, incluso luego de haber producido 261,232 onzas en el 2017.

Dicho estimado se limita al área de la mina subterránea, una zona aurífera adyacente y tres zonas intrusivas de mineral ubicadas en los alrededores. La cifra incluye incluyen 78,2 MM de toneladas con una ley promedio de 0,43 g/t de oro.

“Nuestras reservas probadas crecieron en 452,232 onzas (al 1 de enero de 2018) y ello representa un incremento del 51% sobre las reservas de finales de 2017. El programa de sondeo para 2018 tiene el potencial de incrementar recursos y reservas aún más”. En la actualidad, la mineralización aurífera continúa abierta hacia el norte y a profundidad, ofreciendo la oportunidad de proseguir con la expansión de recursos y reservas.

## **MUESTRA**

Como muestra de estudio es la recolección en una cantidad aproximada de cincuenta kilos en un muestreo aleatorio por mallas del cual utilizaremos diez kilos para realizar su tratamiento metalúrgico mediante la adición de cianuro de sodio para llevar a cabo la lixiviación de los minerales oxidados con la finalidad de obtener el oro.

N= 16 K mineral



### **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**Ficha.** Se utilizó en la toma de datos de las pruebas metalúrgicas realizadas en laboratorio, como por ejemplo pesos, leyes etc.

**Cuaderno de apuntes.** Se utilizó en el trabajo de campo, tomando apuntes necesarios como las observaciones realizadas en las pruebas de botellas.

**Reporte de análisis químico.** Estos datos nos sirvieron para realizar el análisis del comportamiento metalúrgico del mineral en la cianuración y para realizar el balance metalúrgico de las recuperaciones del oro y plata.

### **3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa estadístico del minitab. Como también para realizar el gráfico de recuperación del oro.

### **3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

El tratamiento estadístico se realizó usando el paquete estadístico del Excel, en la que se determinó el valor promedio y sumatoria de valores metálicos.

### **3.8. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

Los instrumentos para la toma de datos y reporte de las pruebas metalúrgicas fueron validados por juicio de experto.

### **3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA**

La investigación se realizó aplicando los valores éticos de un profesional por lo que se da fe de los datos obtenidos y resultados que beneficiaran a la empresa Arias.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO**

El 28 de mayo recibimos en nuestro laboratorio metalúrgico muestras codificados como zonas: Esperanza Baja, Serpentina Nivel 0, Veta Gold y Relleno, todos envasados en sacos. Estas fueron descargadas y colocadas en lugares separados y tapados para evitar su contaminación.

##### **4.1.1. LABOR SERPENTINA SUPERFICIE**

Se recibieron 18 muestras contenidas en 18 sacos, de las cuales 10 corresponde a muestras tomadas de la boca mina hacia el PAD, por lo que se le asignó como código PD, se pueden ver en la tabla 4.

**Tabla 4. Labor serpentina nivel 0 – superficie**

<b>Zona</b>	<b>Muestra N°</b>	<b>Código Compósito</b>
Superficie de la boca mina hacia el PAD	161386	Tramo 1 (PD)
	161385	
	161383	Tramo 2 (PD)
	161384	
	161381	Tramo 3 (PD)
	161382	
	161379	Tramo 4 (PD)
	161380	
	161378	Tramo 5 (PD)
	161377	

Fuente: Elaboración propia

08 muestras corresponden a muestras tomadas de la boca mina hacia la poza y se le asignó el código PZ, se puede ver en la tabla 5.

**Tabla 5. Labor Serpentina Nivel 0 – Superficie**

<b>Zona</b>	<b>Muestra N°</b>	<b>Código Compósito</b>
Superficie de la boca mina hacia el Poza	161376	Tramo 6 (PD)
	161375	
	161374	Tramo 7 (PZ)
	161373	
	161372	Tramo 8 (PZ)
	161371	
	161370	Tramo 9 (PZ)
	161369	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. LABOR SERPENTINA GALERÍA

Se recibieron 24 muestras contenidas en 24 sacos, de las cuales 12 corresponde a muestras tomadas de la Galería 548 NW, por lo que se le asignó como código VG (Del 1 al 6), se pueden ver en la tabla 6.

**Tabla 6: Labor Serpentina Nivel 0 – Galería**

Zona	Muestra N°	Código Compósito
Galería 547 NW	161346	VG1
	161345	
	161348	VG2
	161347	
	161350	VG3
	161349	
	161351	VG4
	161352	
	161353	VG5
	161354	
	161356	VG6
	161355	

Fuente: Elaboración propia

08 corresponde a muestras tomadas de la Galería 548 SE, por lo que se le asignó como código VG (Del 7 al 10), se pueden ver en la tabla 7.

**Tabla 7: Labor serpentina Nivel 0 – Galería**

Zona	Muestra N°	Código Compósito
Galería 548 SE	161357	VG7
	161358	
	161359	VG8
	161360	
	161361	VG9
	161362	
	161363	VG10
	161364	

Fuente: Elaboración propia

04 corresponde a muestras tomadas de la Galería 532 SE, por lo que se le asignó como código VG (Del 11 al 12), se pueden ver en la tabla 8.

**Tabla 8: Labor serpentina Nivel 0 – Galería**

Zona	Muestra N°	Código Compósito
Galería 532 SE	161365	VG11
	161366	
	161367	VG12
	161368	

Fuente: Elaboración propia

#### **4.1.3. NUEVA ESPERANZA**

Se recibieron 49 muestras contenidas en 49 sacos, la cantidad de muestra está en función del tonelaje probable en cada block, de las cuales:

- 08 corresponde a muestras tomadas de Block 21, por lo que se le asignó como código EB1, tal como se puede ver en la tabla 9.

- 05 corresponde a muestras tomadas de Block 10, por lo que se le asignó como código EB2, tal como se puede ver en la tabla N° 9.
- 08 corresponde a muestras tomadas de Block 1, por lo que se le asignó como código EB3, tal como se puede ver en la tabla N° 9.
- 08 corresponde a muestras tomadas de Block 2, por lo que se le asignó como código EB4, tal como se puede ver en la tabla N° 9.
- 12 corresponde a muestras tomadas de Block 3, por lo que se le asignó como código EB5, tal como se puede ver en la tabla N° 9.
- 08 corresponde a muestras tomadas de Block 4, por lo que se le asignó como código EB6, tal como se puede ver en la tabla 9.

**Tabla 9. Esperanza baja**

<b>Zona</b>	<b>Código</b>	<b>Reserva Probable(TMS)</b>	<b>Distribución (%)</b>	<b>Muestras N°</b>
Block 21	EB1	7 000	17	8
Block 10	EB2	3 000	7	5
Block 1	EB3	6 000	14	8
Block 2	EB4	6 000	14	8
Block 3	EB5	11 000	26	12
Block 4	EB6	9 000	21	8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10. Peso de las muestras después del muestreo**

<b>Zona</b>	<b>Tarjeta</b>	<b>Código</b>	<b>Peso (kg)</b>
<b>Esperanza baja</b>	Block 21	EB1	278,8
	Block 10	EB2	183,9
	Block 1	EB3	318,0
	Block 2	EB4	317,2
	Block 3	EB5	539,4
	Block 4	EB6	327,3
<b>Serpentina Nivel 0 - Veta</b>	Galería 548 NW	VG (1 al 6)	514,0
	Galería 548 SE	VG (7 al 10)	401,5
	Galería 532 SE	VG (11 al 12)	142,8
<b>Serpentina Nivel 0 - Superficie</b>	Superficie – PAD	PD	123,7
	Superficie - Poza	PZ	97,2
<b>Veta Gold</b>	Gold	GLD	517,0
<b>Relleno</b>	Relleno	RL	78,3
<b>Peso Total</b>			<b>3 838,9</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. PESO TOTAL DE MUESTRAS

El peso total de muestras recepcionadas fue de 3,838.9 Kg (peso húmedo), tal como se puede ver en la tabla 10.

#### 4.1.5. EXPERIMENTACIÓN

Las pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio se realizaron siguiendo un procedimiento estándar definido por AYC METALURGIA S.A.C.

Cada muestra se preparó a:

- 100 % menos 1 pulgadas,
- 100 % menos ½”,
- 100 % menos 150 mallas
- 80 % menos 200 mallas.



Se homogenizó, se cuarteo y se obtuvo muestras representativas para realizar el siguiente trabajo:

- Ensaye químico de cabeza.
- Análisis granulométrico y químico menos 1 pulgadas.
- Análisis granulométrico y químico menos 1/2 pulgada.
- Determinar el pH natural de la muestra de mineral.
- El consumo de cal hasta llegar a valores de pH 10.
- Pruebas de cianuración por agitación en botellas 80 % menos 200 mallas.
- Pruebas de cianuración por agitación en botellas 100 % menos 150 mallas.
- Pruebas de cianuración por percolación en columnas cortas 100 % menos 1”.
- Pruebas de cianuración por percolación en columnas cortas 100 % menos 1/2”.

Para determinar el pH natural y consumo de cal, cada muestra preparada es agregada a botellas donde se le adiciona agua en una relación de 2/1 (l/s), se agita sin agregar ningún reactivo por un tiempo de 24 horas y se determina el pH natural del mineral.

Luego se agrega cal y se agita hasta obtener un pH de trabajo con un valor de 9.5 a 10; esta agitación es por espacio de 24

horas continuas hasta que se establezca el valor de pH, **en esta etapa se determina el consumo de cal.**

Las pruebas de cianuración por agitación en botellas se realizan agitando las muestras (pulpa) obtenidas en una solución alcalina de cianuro de sodio durante 72 horas.

A diferentes intervalos de tiempo (2, 4, 8, 12, 24, 48 y 72 horas) se controlan y son reajustadas las condiciones de operación en cuanto a peso de soluciones, pH y fuerza de cianuro de la solución lixiviante y se tomarán alícuotas las que serán analizadas por oro y plata.

Al final de las pruebas, los ripios son lavados con abundante agua fresca hasta eliminar el contenido de cianuro de sodio y de valores disueltos, después son secados, preparados mecánicamente, homogenizados y cuarteados, se obtienen muestras de relave (ripios) para análisis por oro y plata. Con los resultados de los análisis químicos de los diferentes productos (soluciones, sólidos) se procede a realizar el balance metalúrgico respectivo para cada muestra. Las muestras de soluciones producto de la cianuración tomadas a las: 2, 4, 8, 12, 24, 48 y 72 horas de agitación se envían para realizar su ensayo químico por oro y plata.

## **A. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Cada muestra se prepara de acuerdo a los trabajos a desarrollar, para este caso se ha tomado en cuenta las reservas probables para ejecutar pruebas, por lo que se han considerado hacer pruebas de cianuración por agitación en botellas, pruebas de cianuración por percolación en columnas cortas y análisis granulométrico con las muestras donde se tienen mayor tonelaje probable tales como Esperanza Baja (40,000 TMS), Labor Serpentina (60,000 TMS) y para aquellas muestras de menor tonelaje tales como Veta Gold y Relleno, se realizarán solo pruebas de cianuración por agitación en botellas para determinar su respuesta metalúrgica y docilidad al proceso de cianuración.

### **a) ESPERANZA BAJA Y LABOR SERPENTINA GALERÍA**

Cada muestra recepcionada fue preparada para obtener muestras representativas para:

- Ensayo de cabeza.
- Determinación de humedad (%).
- Determinar pH natural.
- Determinar consumo de cal hasta llegar a un pH estable de 10.
- Pruebas de cianuración por agitación en botellas a 100 % menos 150 mallas.

- Pruebas de cianuración por agitación en botellas a 80 % menos 200 mallas.
- Pruebas de cianuración por percolación en columnas cortas a 100 % menos 1”.
- Pruebas de cianuración por percolación en columnas cortas a 100 % menos 1/2”.
- Análisis granulométrico y químico menos 1”.
- Análisis granulométrico y químico menos 1/2”.

**b) VETA GOLD, RELLENO Y LABOR SERPENTINA (SUPERFICIE)**

- Ensayo de cabeza.
- Determinación de humedad (%).
- Determinar pH natural.
- Determinar consumo de cal hasta llegar a un pH estable de 11.
- Pruebas de cianuración por agitación en botellas a 100 % menos 150 mallas.

**B. PRUEBAS DE CIANURACIÓN POR AGITACIÓN EN BOTELLAS**

El presente informe está enfocada a las pruebas de cianuración por agitación en botellas a 100 % menos 1 pulgada. Se realizaron 11 pruebas, de las cuales 6 pertenecen a Nueva Esperanza, 3 a labor Serpentina Veta

y 2 a labor Serpentina Superficie. Las muestras fueron preparadas a 100 % menos 1 pulgada, cada una fue homogenizada, cuarteada para obtener muestras representativas para realizar los trabajos de: Determinar el pH natural del mineral, el consumo de cal, análisis químico de cabeza y pruebas de cianuración por agitación en botellas, de acuerdo al siguiente programa que se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11. Pruebas en botella muestra Esperanza Baja y Labor Serpentina**

N°	Muestra	Granulometría	Fuerza NaCN (ppm)	Agitación
1	Preparación muestra mineral	100 % - 1"	000	00
2	Determinación de pH natural	100 % - 150 mallas	000	22
3	Determinación consumo de cal	100 % - 150 mallas	000	34
4	Pruebas de cianuración por agitación en botellas	100 % - 150 mallas	1000	72

Fuente: Elaboración propia

## C. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

### LEY DE CABEZA ENSAYADA

Cada muestra recepcionada fue preparada mecánicamente, homogenizada y cuarteada y se tomó una muestra representativa para determinar la ley de cabeza,

los resultados lo podemos ver en las siguientes tablas:

12,13,14 y 15.

**Tabla 12. Ley de cabeza ensayada Labor Serpentina – Vetas**

Muestras	Oro		Plata	
	(ppb)	(g/T)	(ppm)	(Oz/T)
Galería 548 NW (veta)	1842	1,842	144	4,64
Galería 548 NW (veta)	1764	1,764	154	4,96
Galería 548 NW (veta)	1989	1,989	190	6,12
Galería 548 NW (veta)	995	0,995	119	3,82
Galería 548 NW (veta)	961	0,961	123	3,95
Galería 548 NW (veta)	783	0,783	130	4,18
Galería 548 SE (veta)	2618	2,618	177	5,69
Galería 548 SE (veta)	1853	1,853	172	5,52
Galería 548 SE (veta)	1180	1,180	108	3,47
Galería 548 SE (veta)	216	0,216	34	1,10
Galería 532 SE (veta)	704	0,704	58	1,85
Galería 532 SE (veta)	1875	1,875	93	2,98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13: Ley de cabeza ensayada Labor Serpentina – Superficie**

Muestras	Oro		Plata	
	(ppb)	(g/T)	(ppm)	(Oz/T)
Tramo 1 (superficie)	35	0,035	21	0,66
Tramo 2 (superficie)	82	0,082	35	1,13
Tramo 3 (superficie)	210	0,210	40	1,28
Tramo 4 (superficie)	33	0,033	< 20	0,64
Tramo 5 (superficie)	31	0,031	< 20	0,64
Tramo 6 (superficie)	30	0,030	< 20	0,64
Tramo 7 (superficie)	834	0,834	44	1,40
Tramo 8 (superficie)	191	0,191	< 20	0,64
Tramo 9 (superficie)	157	0,157	26	0,84

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14. Ley de cabeza ensayada Esperanza Baja**

Muestras	Oro		Plata	
	(ppb)	(g/T)	(ppm)	(Oz/T)
Block 21 (EB)	732	0,732	118	3,79
Block 10 (EB)	1858	1,858	298	9,58
Block 1 (EB)	1046	1,046	179	5,75
Block 2 (EB)	898	0,898	166	5,34
Block 3 (EB)	2098	2,098	244	7,83
Block 4 (EB)	2081	2,081	221	7,11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15. Ley de cabeza ensayada muestras compósito**

Muestras	Oro		Plata	
	(ppb)	(g/T)	(ppm)	(Oz/T)
Compósito Galería 548 NW	1697	1,697	155	4,98
Compósito Galería 548 SE	1550	1,550	155	4,98
Compósito Galería 532 SE	2500	2,500	84	2,70
Compósito TRAMO PAD	65	0,065	< 20	0,64
Compósito TRAMO POZA	372	0,372	27	0,86

Fuente: Elaboración propia

## D. PRUEBAS METALÚRGICAS

### a. Pruebas para determinar el pH natural y el consumo de cal

El objetivo es determinar el pH natural de cada muestra mineral y el consumo de cal por tonelada de mineral para mantener el pH del medio de cianuración en 10.

### b. Pruebas de cianuración por agitación en botellas

Las pruebas de cianuración por agitación en botellas se desarrollaron con pesos de mineral tal como se puede ver en tabla 16.

**Tabla 16. Pesos de mineral para cada prueba**

N° Botella	Zona	Peso de mineral (kg)
1	Labor Serpentina – Superficie - PAD	2,05
2	Labor Serpentina – Superficie –Poza	1,95
3	Compósito Galería 548 NW	1,70
4	Compósito Galería 548 SE	2,00
5	Compósito Galería 532 SE	1,50
6	Block 21	2,10
7	Block 10	1,85
8	Block 1	2,15
9	Block 2	2,15
10	Block 3	2,05
11	Block 4	2,40

Fuente: Elaboración propia

En cada caso, las variables respuesta que se determinaron y calcularon fueron las siguientes:

- Determinación de cianuro libre, cal libre y pH a las 2, 4, 8, 12, 24, 48 y 72 horas, con su respectivo reajuste de cianuro y control de pH.
- Determinación de Au y Ag en solución a las 2, 4, 8, 12, 24, 48 y 72 horas
- Determinación de la gráfica de la cinética de extracción de Au y Ag en cada caso.



- Determinación de Au y Ag en los relaves (ripios) de cianuración.
- Cálculo de la distribución de Au y Ag en los diferentes productos de la prueba realizada y de la ley de cabeza calculada.
- Cálculo del consumo de cianuro de sodio.
- Cálculo del consumo de cal.

En todas las pruebas la fuerza de cianuro de sodio de la solución fue de 0.1% (1,000 ppm) a pH 10.0, con 34% de sólidos, con un tiempo de tratamiento de 72 horas. Estas condiciones se dan en forma amplia de balance metalúrgico de pruebas de cianuración por agitación en botellas.

## **4.2. PRESENTACION, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.2.1. Pruebas de Determinación de pH Natural y Consumo de Cal**

Para determinar el pH natural de la muestra se agitó por espacio de 22 horas consecutivas, luego del cual se realizó el control y medición del valor de pH natural.

**Tabla 17. Prueba de alcalinidad**

N° Botella	Zona	Tiempo agit. (hr)	pH Natural
1	Labor Serpentina – superficie - PAD	22	6,0
2	Labor Serpentina – superficie –Poza	22	6,0
3	Compósito Galería 548 NW	22	6,0
4	Compósito Galería 548 SE	22	6,0
5	Compósito Galería 532 SE	22	6,0
6	Block 21	22	6,0
7	Block 10	22	6,0
8	Block 1	22	6,0
9	Block 2	22	6,5
10	Block 3	22	6,0
11	Block 4	22	6,5

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas de alcalinidad se realizaron en un tiempo de agitación de 34 horas, el consumo de cal y el pH de cianuración es 10,0. La cal empleada en las pruebas fue de 40,1 % de CaO (Según ensaye determinado por laboratorio químico-metalúrgico).

**Tabla 18. Determinación del consumo de cal**

N° Botella	Zona	Cal (g)	Tiempo Agit (hr)	pH Trabajo	Cons Cal (kg/TM)
1	Labor Serpentina – superficie - PAD	14,80	34	10	7,22
2	Labor Serpentina – superficie –Poza	14,50	34	10	7,44
3	Compósito Galería 548 NW	7,00	34	10	3,68
4	Compósito Galería 548 SE	7,90	34	10	3,95
5	Compósito Galería 532 SE	8,50	34	10	4,15
6	Block 21	11,70	34	10	5,57
7	Block 10	9,40	34	10	5,08
8	Block 1	10,50	34	10	4,88
9	Block 2	11,40	34	10	5,30
10	Block 3	16,70	34	10	8,15
11	Block 4	13,80	34	10	5,75

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.2. Pruebas de Cianuración por Agitación en Botellas**

Los resultados se dan en forma amplia en las tablas de balance que se va mostrando. Un resumen con las leyes de cabeza calculada, extracciones de oro y plata y consumos de reactivos se dan en la tabla 19.

**Tabla 19. Resumen de las leyes de cabeza calculada extracción de oro y plata**

N° Bot	Zona	Granulo metría	Cabeza calc (g/T)		Ripios (g/T)		Extracción (%)		Cons. React. Kg/TM	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Cal	NaCN
1	Labor Serpentina – Superficie - PAD	100%-1"	0,17	23,3	0,02	20,0	86,00	14,30	7,20	3,22
2	Labor Serpentina – Superficie –Poza	100%-1"	0,38	30,9	0,07	22,0	82,60	28,71	7,38	3,44
3	Compósito Galería 548 NW	100%-1"	1,54	134,4	0,64	103,0	58,25	23,25	6,89	3,13
4	Compósito Galería 548 SE	100%-1"	1,40	124,9	0,35	86,0	74,96	31,14	3,99	2,88
5	Compósito Galería 532 SE	100%-1"	2,70	121,1	1,11	79,0	59,05	34,75	5,60	3,04
6	Block 21	100%-1"	0,84	109,0	0,30	91,0	64,09	16,55	5,53	3,15
7	Block 10	100%-1"	1,68	424,2	0,86	368,0	49,14	13,25	5,03	2,89
8	Block 1	100%-1"	1,22	201,1	0,67	147,0	45,17	26,89	4,84	3,10
9	Block 2	100%-1"	1,20	175,8	0,65	97,0	45,60	44,81	5,26	3,24
10	Block 3	100%-1"	1,63	256,5	0,29	198,0	82,32	22,81	8,10	3,39
11	Block 4	100%-1"	1,89	232,5	0,66	171,0	65,32	26,45	5,71	3,17

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE ORO Y PLATA EN LAS PRUEBAS DESARROLLADAS

Muestra: Labor Serpentina – Superficie – Tramo PAD, 80% - 200 mallas

Código: SB1

#### Prueba N° 1

72 horas de agitación en botella con una granulometría de 80% menos 200 mallas, con 0,1% de NaCN en solución.

**Tabla 20. Balance metalúrgico de pruebas de cianuración por agitación en botellas**

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4100,0	80	0,03	1,11	0,11	4,56	30,0	9,5
4 Hr, solución Lix.	4050,0	70	0,03	1,22	0,13	5,04	38,1	10,5
8 Hr, solución Lix.	4000,0	80	0,07	1,34	0,30	5,53	<b>86,0</b>	11,6
12 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,06	1,37	0,25	5,70	70,0	11,9
24 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,05	1,47	0,23	6,21	65,2	13,0
48 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,06	1,51	0,24	6,39	69,5	13,4
72 Hr, solución Lix.	3850,0	0	0,04	1,61	0,18	6,83	52,0	<b>14,3</b>
72 Hr, residuos Lix.	2050,0		0,02	20,0	0,05	41,0	14,0	85,7
Cabeza Calculada			0,17	23,33	0,352	47,829	100,0	100,0
Cabeza Ensayada			0,07	27,00				

Fuente: Elaboración propia

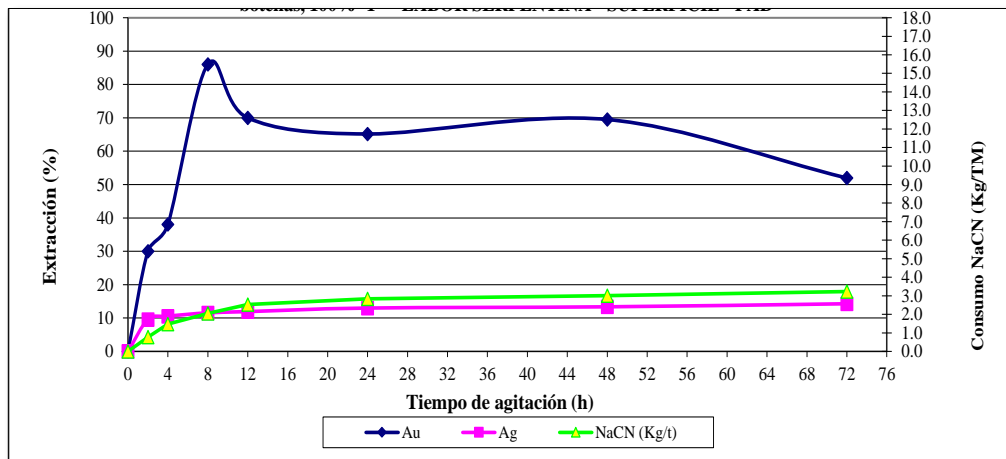


Gráfico 3. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas – Labor Serpentina - Superficie – PAD Fuente: Elaboración propia

Muestra: Labor Serpentina – Superficie – Tramo POZA, 80% - 200 mallas.

Código: SB2

### Prueba N° 2

72 horas de agitación en botella con una granulometría de 80% - 200 mallas, con 0,1% de NaCN en solución.

Tabla 21: Resultados de pruebas de cianuración por agitación en botellas

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,06	1,62	0,217	6,405	29,37	10,64
4 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,09	2,06	0,357	8,170	48,20	13,58
8 Hr, solución Lix.	3850,0	80	0,12	2,54	0,477	10,059	64,44	16,71
12 Hr, solución Lix.	3850,0	80	0,11	2,90	0,453	11,681	61,22	19,41
24 Hr, solución Lix.	3800,0	80	0,14	3,59	0,576	14,383	77,86	23,90
48 Hr, solución Lix.	3800,0	80	0,15	3,92	0,597	15,926	80,75	26,46
72 Hr, solución Lix.	3700,0		0,15	4,31	0,611	17,280	<b>82,60</b>	<b>28,71</b>
72 Hr, residuos Lix.	1950,0		0,07	22,0	0,129	42,900	17,40	71,29
<b>Cabeza Calculada</b>			<b>0,38</b>	<b>30,86</b>	<b>0,740</b>	<b>60,180</b>	100,0	100,0
<b>Cabeza Ensayada</b>			<b>0,37</b>	<b>27,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

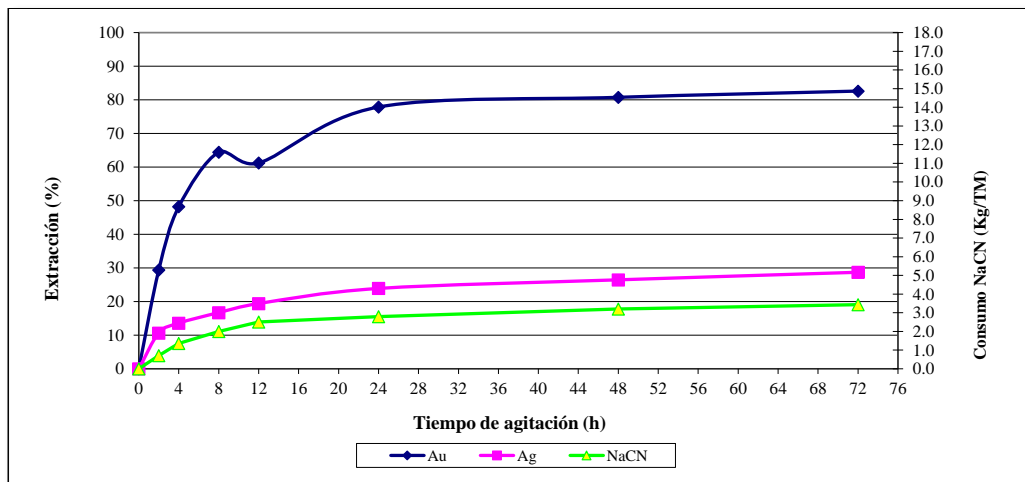


Gráfico 4. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80 % - 200 mallas, LABOR SERPENTINA - SUPERFICIE – POZA Fuente: Elaboración propia

Muestra: Labor Serpentina – Galería 548 NW, 80% -200 mallas

Código: GBS1

### Prueba N° 3

72 horas de agitación en botella con una granulometría de 80% - 200 mallas, con 0,1% de NaCN en solución.

Tabla 22. Resultados de Prueba de cianuración por agitación en botellas

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,16	1,83	0,585	6,879	22,38	3,01
4 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,20	3,35	0,755	12,723	28,87	5,57
8 Hr, solución Lix.	3750,0	80	0,27	5,65	1,023	21,585	39,13	9,45
12 Hr, solución Lix.	3750,0	80	0,31	8,35	1,221	32,183	46,73	14,09
24 Hr, solución Lix.	3750,0	80	0,33	9,82	1,292	37,391	49,44	16,37
48 Hr, solución Lix.	3650,0	80	0,36	12,33	1,430	47,329	54,70	20,72
72 Hr, solución Lix.	3600,0		0,39	13,90	1,522	53,333	<b>58,25</b>	<b>23,35</b>
72 Hr, residuos Lix.	1700,0		0,64	103,00	1,091	175,100	41,75	76,65
Cabeza Calculada			<b>1,54</b>	<b>134,37</b>	<b>2,614</b>	<b>228,433</b>	100,0	100,0
Cabeza Ensayada			<b>1,39</b>	<b>143,37</b>				

Fuente: Elaboración propia

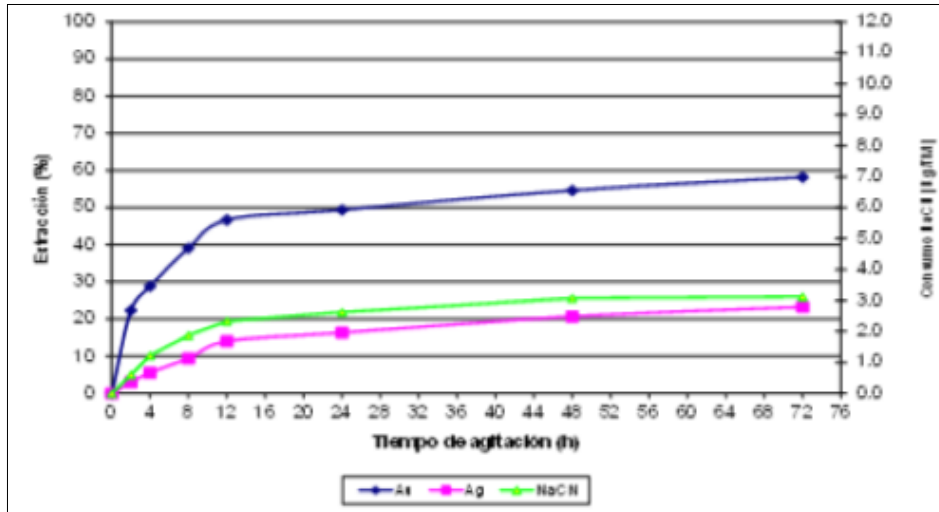


Gráfico 5. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Labor Serpentina – Galería 548 NW Fuente: Elaboración propia

Muestra: Labor Serpentina – Galería 548 SE, 80% -200 mallas

Código: GBS2

#### Prueba N° 4

10 minutos de molienda con cianuro de sodio 0,5% una granulometría de 80% - 200 mallas.

Tabla 23. Resultado de prueba de cianuración por agitación en botellas con molienda

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,23	2,74	0,90	10,80	32,18	4,33
4 Hr, solución Lix.	3750,0	80	0,32	4,98	1,23	18,89	43,85	7,56
8 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,39	7,72	1,57	30,71	55,87	12,30
12 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,46	14,72	1,88	58,62	66,89	23,47
24 Hr, solución Lix.	3850,0	80	0,47	16,32	1,91	65,25	68,25	26,12
48 Hr, solución Lix.	3800,0	80	0,49	17,80	2,00	71,35	71,41	28,57
72 Hr, solución Lix.	3800,0		0,50	19,12	2,10	77,78	<b>74,96</b>	<b>31,14</b>
72 Hr, residuos Lix.	2000,0		0,351	86,00	0,70	172,00	25,04	68,86
<b>Cabeza Calculada</b>			<b>1,40</b>	<b>124,89</b>	2,803	<b>249,782</b>	100,00	100,00
<b>Cabeza Ensayada</b>			<b>1,47</b>	<b>222,67</b>				

Fuente: Elaboración propia



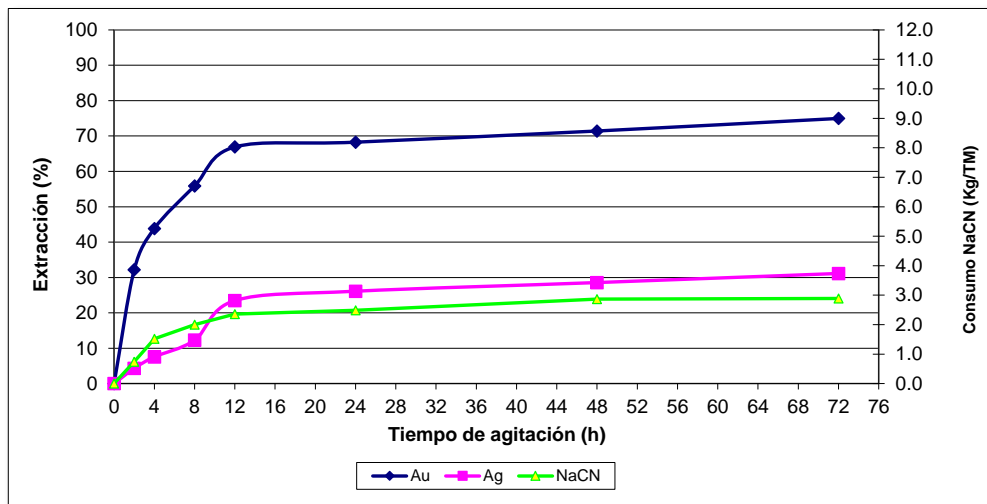


Gráfico 6. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Labor Serpentina – Galería 548 SE Fuente: Elaboración propia

Muestra: Labor Serpentina – Galería 532 SE, 80% -200 mallas

Código: GBS3

### Prueba N° 5

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

Tabla 24. Resultados de prueba de cianuración por agitación en botellas

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4100,0	80	0,15	4,15	0,622	17,019	15,34	9,37
4 Hr, solución Lix.	4050,0	80	0,33	6,00	1,367	24,633	33,72	13,56
8 Hr, solución Lix.	4000,0	80	0,41	8,41	1,669	34,460	41,15	18,98
12 Hr, solución Lix.	4000,0	80	0,43	12,58	1,795	51,817	44,26	28,53
24 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,52	13,90	2,148	57,405	52,98	31,61
48 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,57	14,72	2,352	61,024	58,00	33,60
72 Hr, solución Lix.	3850,0		0,57	15,15	2,394	63,098	<b>59,05</b>	<b>34,75</b>
72 Hr, residuos Lix.	1500,0		1,11	79,00	1,661	118,500	40,95	65,25
Cabeza Calculada			<b>2,70</b>	<b>121,07</b>	<b>4,055</b>	<b>181,598</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>1,29</b>	<b>75,08</b>				

Fuente: Elaboración propia

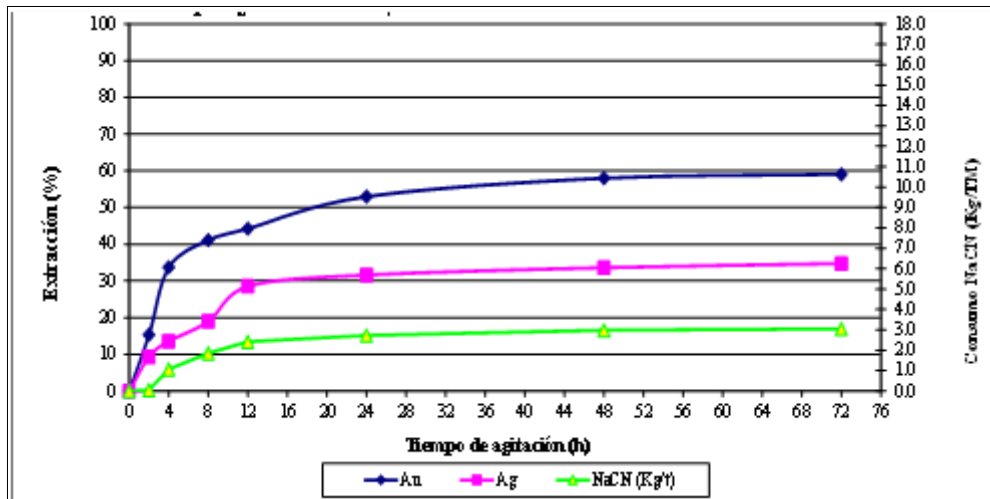


Gráfico 7. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Labor Serpentina – Galería 532 SE Fuente: Elaboración propia

Muestra: Esperanza baja – Block 21, 80% -200 mallas

Código: EB1

### Prueba N° 6

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

**Tabla 25. Resultados de prueba de cianuración por agitación en botellas**

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4200,0	80	0,17	1,41	0,730	5,932	41,49	2,59
4 Hr, solución Lix.	4150,0	80	0,21	3,17	0,890	13,251	50,56	5,79
8 Hr, solución Lix.	4150,0	80	0,22	4,81	0,911	20,343	51,74	8,88
12 Hr, solución Lix.	4150,0	80	0,22	7,39	0,969	31,411	55,03	13,72
24 Hr, solución Lix.	4100,0	80	0,26	7,89	1,117	33,673	63,48	14,71
48 Hr, solución Lix.	4050,0	80	0,25	8,60	1,088	36,805	61,78	16,07
72 Hr, solución Lix.	4000,0		0,26	8,81	1,128	37,887	<b>64,09</b>	<b>16,55</b>
72 Hr, residuos Lix.	2100,0		0,30	91,00	0,632	191,100	35,91	83,45
Cabeza Calculada			<b>0,84</b>	<b>109,04</b>	<b>1,760</b>	<b>228,987</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>0,73</b>	<b>118,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

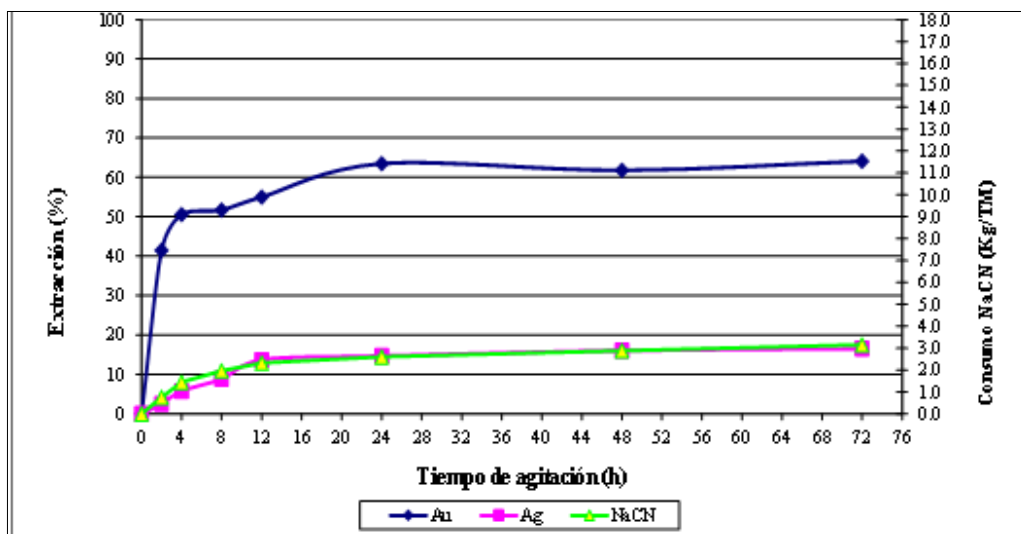


Gráfico 8. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Esperanza Baja – Block 21 Fuente: Elaboración propia

Muestra: Esperanza baja – Block 10, 80% -200 mallas

Código: EB2

### Prueba N° 7

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

Tabla 26. Resultado de prueba cianuración por agitación en botellas

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	3700,0	80	0,21	6,57	0,767	24,312	24,67	3,10
4 Hr, solución Lix.	3650,0	80	0,26	8,66	0,963	32,119	30,97	4,09
8 Hr, solución Lix.	3600,0	80	0,31	12,94	1,171	47,784	37,64	6,09
12 Hr, solución Lix.	3550,0	80	0,32	20,43	1,192	74,776	38,32	9,53
24 Hr, solución Lix.	3500,0	80	0,39	23,09	1,442	84,692	46,38	10,79
48 Hr, solución Lix.	3450,0	80	0,40	26,09	1,511	95,748	48,57	12,20
72 Hr, solución Lix.	3400,0		0,41	28,27	1,529	103,953	<b>49,14</b>	<b>13,25</b>
72 Hr, residuos Lix.	1850,0		0,855	368,00	1,582	680,800	50,86	86,75
Cabeza Calculada			<b>1,68</b>	<b>424,19</b>	<b>3,110</b>	<b>784,753</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>1,86</b>	<b>298,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

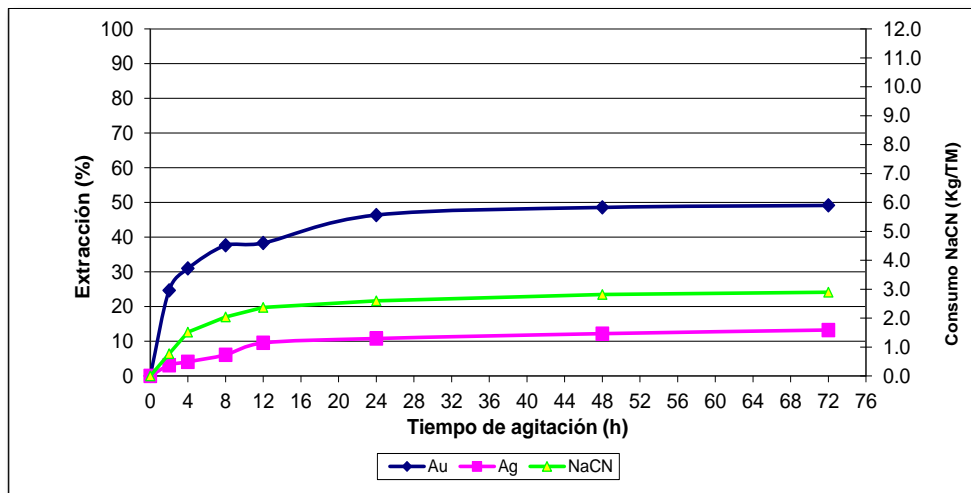


Gráfico 9. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80%- 200 mallas, Esperanza Baja – Block 10 Fuente: Elaboración propia

Muestra: Esperanza baja – Block 1, 80% -200 mallas

Código: EB3

### Prueba N° 8

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

**Tabla 27. Resultado de prueba de cianuración por agitación en botellas con molienda**

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4300,0	80	0,07	7,82	0,32	33,62	12,16	7,78
4 Hr, solución Lix.	4250,0	80	0,16	14,19	0,71	60,94	26,87	14,10
8 Hr, solución Lix.	4250,0	80	0,21	17,95	0,90	78,04	34,39	18,05
12 Hr, solución Lix.	4250,0	80	0,19	21,43	0,86	94,25	32,71	21,80
24 Hr, solución Lix.	4200,0	80	0,24	23,61	1,05	104,06	40,00	24,07
48 Hr, solución Lix.	4150,0	80	0,25	25,63	1,09	113,18	41,58	26,18
72 Hr, solución Lix.	4100,0		0,27	26,20	1,19	116,26	<b>46,17</b>	<b>26,89</b>
72 Hr, residuos Lix.	2150,0		0,67	147,00	1,44	316,05	54,83	73,11
Cabeza Calculada			<b>1,22</b>	<b>201,08</b>	<b>2,627</b>	<b>432,312</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>1.05</b>	<b>179,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

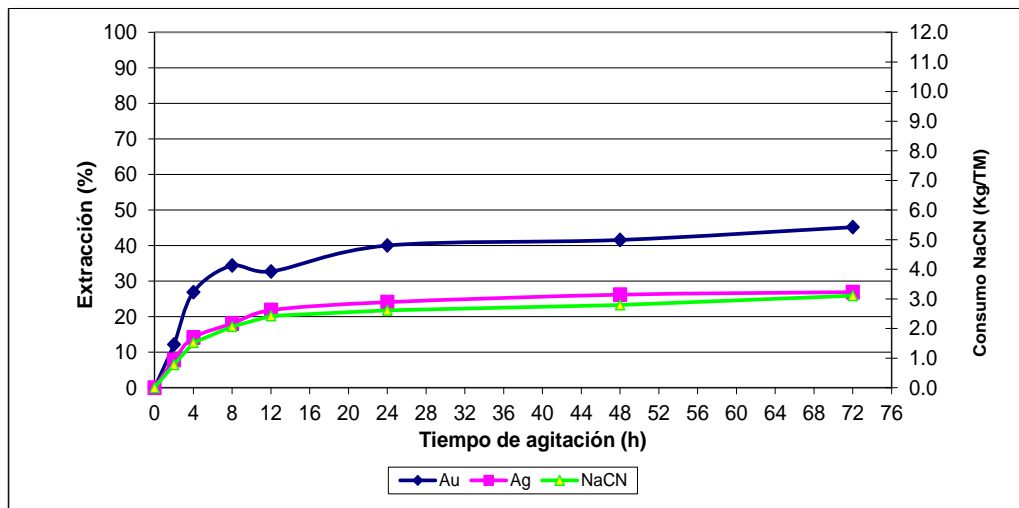


Gráfico 10. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Esperanza Baja – Block 1 Fuente: Elaboración propia

Muestra: Esperanza baja – Block 2, 80% -200 mallas

Código: EB4

### Prueba N° 9

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

Tabla 28. Resultado de prueba de cianuración por agitación en botellas

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4300,0	80	0,11	9,01	0,461	0,461	17,92	10,25
4 Hr, solución Lix.	4250,0	80	0,16	16,94	0,697	0,697	27,08	19,24
8 Hr, solución Lix.	4250,0	80	0,20	24,32	0,884	0,884	34,37	27,90
12 Hr, solución Lix.	4200,0	80	0,21	30,74	0,924	0,924	35,91	35,22
24 Hr, solución Lix.	4150,0	80	0,24	33,79	1,061	1,061	41,25	38,82
48 Hr, solución Lix.	4100,0	80	0,27	37,31	1,170	1,170	45,46	42,91
72 Hr, solución Lix.	4100,0		0,26	38,34	1,173	1,173	<b>45,60</b>	<b>44,81</b>
72 Hr, residuos Lix.	2150,0		0,65	97,00	1,400	1,400	54,40	55,19
Cabeza Calculada			<b>1,20</b>	<b>175,76</b>	<b>2,573</b>	<b>2,573</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>0,90</b>	<b>166,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

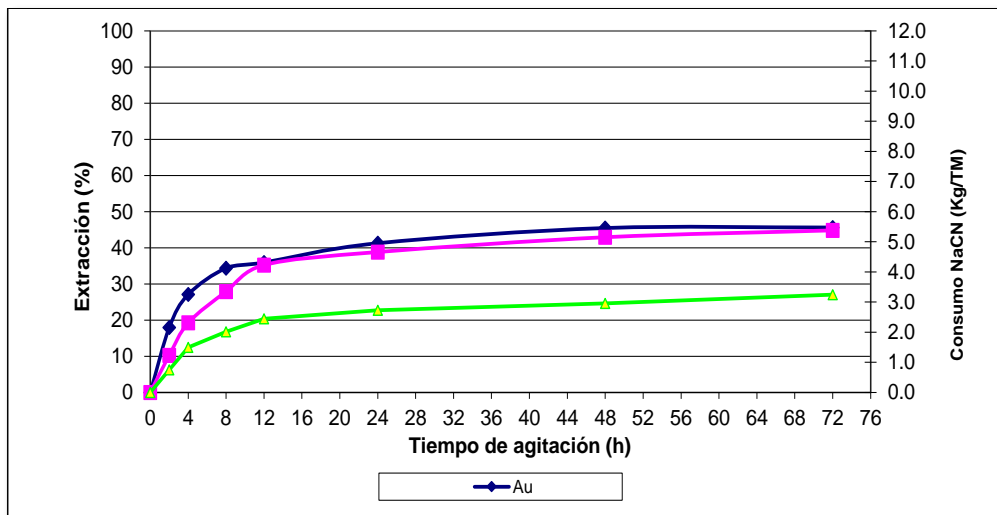


Gráfico 11. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Esperanza Baja – Block 2. Fuente: Elaboración propia

Muestra: Esperanza baja – Block 3, 80% -200 mallas

Código: EB5

### Prueba N° 10

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

Tabla 29. Resultado de prueba de cianuración por agitación en botellas

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4100,0	80	0,40	9,56	1,649	39,177	49,22	7,45
4 Hr, solución Lix.	4050,0	80	0,49	13,92	2,028	57,144	60,50	10,87
8 Hr, solución Lix.	4050,0	80	0,58	17,69	2,427	73,535	72,41	13,98
12 Hr, solución Lix.	4000,0	80	0,62	22,62	2,580	93,786	76,98	17,83
24 Hr, solución Lix.	3950,0	80	0,65	25,44	2,728	105,587	81,41	20,08
48 Hr, solución Lix.	3900,0	80	0,64	27,36	2,701	113,831	80,59	21,65
72 Hr, solución Lix.	3850,0		0,65	28,74	2,759	119,961	<b>82,32</b>	<b>22,81</b>
72 Hr, residuos Lix.	2050,0		0,29	198,00	0,592	405,900	17,82	77,19
Cabeza Calculada			<b>1,63</b>	<b>256,52</b>	<b>3,351</b>	<b>525,861</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>2,10</b>	<b>244,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

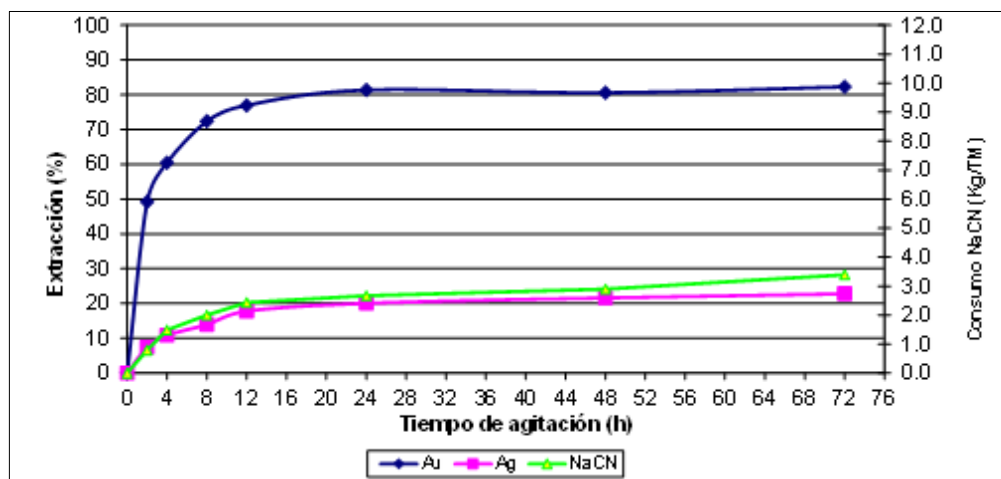


Gráfico 12. Cinética de extracción de oro, plata y consumo de NaCN, muestra a 80% - 200 mallas, Esperanza Baja – Block 3. Fuente: Elaboración propia

Muestra: Esperanza baja – Block 4, 80% -200 mallas

Código: EB6

### Prueba N° 11

72 Hr. de agitación en botella con una granulometría de 80% -200 mallas, con 0,1 % NaCN en solución.

**Tabla 30 Resultado de prueba de cianuración por agitación en botellas**

Producto	Peso (g)	Alícuota (g)	Ensayo (ppm)		Contenido (mg)		Distribución (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2 Hr, solución Lix.	4800,0	80	0,35	5,33	1,694	25,586	37,32	4,59
4 Hr, solución Lix.	4750,0	80	0,45	8,58	2,184	41,195	48,12	7,38
8 Hr, solución Lix.	4750,0	80	0,51	13,86	2,478	66,924	54,58	11,99
12 Hr, solución Lix.	4750,0	80	0,53	21,03	2,621	102,104	57,74	18,30
24 Hr, solución Lix.	4700,0	80	0,57	25,26	2,839	122,626	62,55	21,98
48 Hr, solución Lix.	4650,0	80	0,58	28,76	2,889	139,668	63,64	25,08
72 Hr, solución Lix.	4600,0		0,59	30,30	2,965	147,615	<b>65,32</b>	<b>26,45</b>
72 Hr, residuos Lix.	2400,0		0,66	171,00	1,574	410,400	34,68	73,55
Cabeza Calculada			<b>1,89</b>	<b>232,51</b>	<b>4,539</b>	<b>558,015</b>	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			<b>2,08</b>	<b>221,00</b>				

Fuente: Elaboración propia

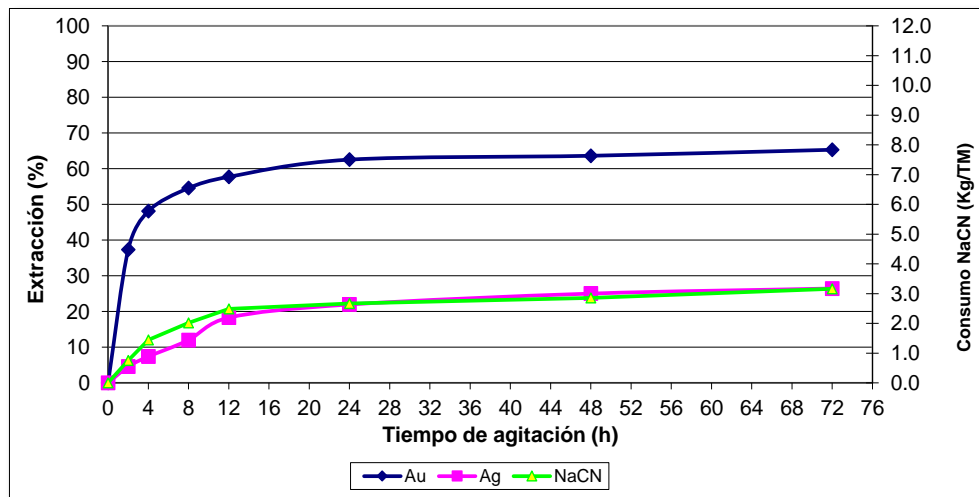


Gráfico 13. Extracción de oro, plata y consumo de NaCN, en pruebas de cianuración por agitación en botellas, 80 % -200 mallas – Block 4. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS

Como hipótesis de investigación nos planteamos que evaluando metalúrgicamente a los minerales auríferos se podrá recuperar el oro y plata de la Compañía Minera Arias.

Las pruebas de lixiviación desarrolladas demuestran que si es posible recuperar el oro y plata mediante la lixiviación por agitación siendo la recuperación máxima alcanzado de 82,60 % Au y 28,71 % de Ag. Esta recuperación se alcanzo con dosificaciones de NaCN al 0.1%, trabajando con 72 h de agitación.



#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

- El análisis químico del mineral muestreado a las diferentes vetas de la concesión minera Arias tienen como ley de cabeza para el oro y plata máximo de 2.5 g/T de Au y 9.58 Onz/T de Ag, siendo la ley mínima de 0.30 g/T para el Au y 0.64 Onz/T para la plata.
- El método de recuperación elegido es de la lixiviación por agitación que es el método que mejor recupera el oro y la plata en comparación con la lixiviación en columna.
- La recuperación del oro y plata se alcanza trabajando con 72 h de agitación con dosificación de NaCN al 0,1%, alcanzándose la máxima recuperación de 82,60% de Au y 28,71% de Ag.

## CONCLUSIONES

- En todas las pruebas la fuerza de cianuro de sodio fue de 0.1% a pH de 10 con 34% de sólidos y un tiempo de agitación de 72 Hr.
- En cuanto a las pruebas de álcali protector se determinó en un tiempo de agitación de 34hr manteniendo el pH de 10 alcanzando el consumo de cal promedio de 5.56 Kg/TM de mineral.
- De las pruebas de cianuración realizadas se determinó una extracción promedio para el oro de 64.8% y para la plata de 25.7% con un consumo de cianuro de 3.15 Kg/TM.
- El grado de extracción de la plata que se determinó en 25.7% se debe a la cinética de lixiviación que es más lenta comparado con el oro.
- Se consideran los promedios de consumo de cal, extracción y consumo de cianuro debido a que individualmente se trataron como Blending de todas las zonas en estudio.
- De acuerdo a las pruebas realizadas se puede establecer un proceso de lixiviación en pilas, teniendo en cuenta la inversión para la instalación de la planta de tratamiento.

## RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de lixiviación en pilas a nivel piloto realizando un Blending de los minerales de las zonas en estudio.
- Para determinar el álcali protector es necesario utilizar cal con mayor contenido de CaO y así establecer reducir el consumo de cal.
- Realizar pruebas de lixiviación por agitación con minerales liberados a 80% malla -200 con la finalidad de mejorar los % de extracción.
- Con las soluciones ricas obtenidas es necesario realizar pruebas de adsorción con carbón activado y cementación con polvo de zinc para la determinar cuál es el proceso adecuado para la recuperación final del oro y la plata.
- Realizar pruebas de destrucción de cianuro con la finalidad de mitigar la contaminación que podría generar el proceso establecido.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Cyanamid Company, (1986) "manual de productos químicos" para minería" impreso en México. Traducido por: Elena Saucedo Loya, A. Giraldez y J.A.Gutierrez abril 1988.
2. Bilston, D.W., La Brooy, S.R. and Woodcock, J.T., "Gold and silver leaching from an oxidized gold ore under controlled condition", Symposium on "Extractive Metallurgy", 1984, pp. 51-60.
3. Charley W. R., "Hydrometallurgical extraction of precious metals", Pract. Hydromet '83, Annual Symp of Uranium and Precious Metals, 7<sup>th</sup>, 1983, pp. 75-81.
4. Chen C.K., Lung T.N. and Wan C.C. (1980), Hydrometallurgy, pp.207-212
5. Chtyan, G. Vartanyants, S., Adzhemyan, o., Andresyan, D. and Babayan G. (1976), "Possibility of extracting gold using an acid solution of thiourea in the presence of ozone.", Arm. Khim. Zh., Vol. 29, No. 32, 1976, pp. 225-9.
6. Gabra G. (1984), "A kinetic study of the leaching of gold from pyrite concentrate", AIME Conference" precious Metals", Mining, Extraction and Processing.
7. Groenewald T. (1975), "Electrochemical studies on gold electrodes in on gold electrodes in acidic solutions of thiourea containing gold (I) thiourea complex ions", Journal of applied electrochemistry, pp. 71-80.

8. Groenewald T. (1976), "The dissolution of gold in acidic solutions", Hydrometallurgy, 1, 277-290.
9. Groenewald T. (1977), "Potential applications of dissolution in acidic solutions processing of gold and silver", J. South African Institute of mining and metallurgy, pp. 217-230.
10. Habashi, F. (1967), "Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solution". Bulletin 59, State of Montana Bureau of Mines and Geology, pp 1- 42.
11. Habashi, F. (1970), "Principles of extractive Metallurgy Volume 2 Hydrometallurgy", Gordon and breach, New York

**ANEXO**







## FOTOS



Cianuración de botellas



Extracción de NaCN

## RECURSOS FINANCIEROS

Combustible y lubricantes	50.00
Implementos de seguridad	100.00
Pasajes y gastos de transporte	100.00
Redacción e impresión del informe	100.00
Materiales de enseñanza	150.00
Útiles de escritorio	100.00
Equipamiento de bienes duraderos	1 500.00
Imprevistos	100.00
	-----
TOTAL	S/. 2 200.00

## CRONOGRAMA

Actividades	ene	feb	mar	abr	may	jun
Implementación del proyecto	X					
Recolección de muestras	X					
Análisis de datos		X				
Ajuste de resultados			X			
Análisis de resultados				X		
Discusión de resultados					X	
Presentación del informe final						X