

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**

**ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**EXTRACCIÓN DEL ORO MEDIANTE EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON EL  
REACTIVO SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO CHOCROCOÑA, LLUSCO -  
CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO**

(Investigación tecnológica)

**TESIS**

Para optar el título profesional de INGENIERO METALÚRGICO.

**AUTOR** : Bach. ROMERO GARCIA, Jimmy Octavio

**ASESOR** : Ing. CARRASCO TAPIA, Porfirio

**CUSCO-PERÚ**

**2020**

## Dedicatoria

### *A Dios y la Virgen del Carmen:*

*Por darme la fortaleza y permitirme seguir adelante  
por el camino que me he trazado, bendiciéndome  
cada día con vida y salud.*

### *A mis padres:*

*Andrés y Leonor, por creer siempre en mí, los  
consejos y buenos valores impartidos en el  
transcurso de mi vida, mis proyectos  
personales y profesionales.*

### *A mi esposa:*

*Edith, por el constante apoyo incondicional,  
comprensión en esta nueva etapa de mi vida y en la  
elaboración de la tesis.*

### *A mi hijo:*

*Andrés Gabriel, que cambio mi vida, por darme  
fuerza y una razón para seguir adelante con mis  
proyectos.*

## **Agradecimiento**

*Mi más sincero agradecimiento al asesor de esta tesis el ingeniero Porfirio Carrasco Tapia, que con su vasta experiencia y profesionalismo me apoyo con sus consejos, ideas y sugerencias hacia mi persona en el proceso de elaboración de la tesis.*

*Igualmente, al docente y encargado del laboratorio de hidrometalurgia, el Ingeniero Eduardo Quispe Nina, por su colaboración facilitándome las instalaciones del laboratorio para realizar el trabajo experimental requerido en la tesis.*

*A todos y cada uno de los Ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por el tiempo, apoyo y enseñanza de sus conocimientos y experiencias para mi formación académica en el transcurso de mi estancia Universitaria.*

*Muchas gracias.*

## Presentación

Señores miembros del jurado:

De acuerdo con la ley de grados y títulos de la prestigiosa Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica y la aprobación de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, pongo a disposición el presente trabajo de tesis intitulada:

**EXTRACCIÓN DE ORO MEDIANTE EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON EL REACTIVO SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO CHOCROCOÑA, LLUSCO – CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO.**

Esperando que este trabajo de investigación sea una contribución académica, con el propósito de lograr excelentes prácticas de procesos extractivos de la zona y de ámbito nacional.

**Bach. Jimmy O. Romero García**

## RESUMEN

**TITULO:** EXTRACCIÓN DE ORO MEDIANTE EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON EL REACTIVO SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO CHOCROCOÑA, LLUSCO – CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO.

**AUTOR:** ROMERO GARCIA, Jimmy Octavio

### DESCRIPCION:

Actualmente la industria metalúrgica ha tomado un papel importante en el contexto tecnológico en búsqueda de nuevas tecnologías que reemplacen a las tradicionales, sean eficientes, económicas y rentables, con el propósito de extraer Oro de minerales auríferos mediante el proceso de lixiviación.

La presente tesis de investigación tiene como objetivo determinar el porcentaje de extracción de Oro mediante el proceso de lixiviación con el reactivo Sandioss, aplicado a minerales de tipo placer eluvial que contiene cuarzo en mayor proporción, grava, arena y limo. Para lo cual se realizó un estudio experimental de carácter explicativo – descriptivo.

Las condiciones operativas para el proceso experimental fueron el pH 12 (medio alcalino), granulometría de 65% -200 mallas, temperatura y presión a condiciones normales, variables dependientes como tiempo de lixiviación (24 a 48 horas), concentración de reactivo (0.03 a 0.05) y % de sólidos en pulpa de (25 a 30), obteniendo un resultado de 98 % de extracción de Oro en un tiempo de 48 horas, siendo esta la variable más influyente y con más significancia en el proceso.

De acuerdo a los resultados obtenidos puede concluir que el reactivo lixivante sandioss ofrece alto nivel de extracción de Oro aproximadamente 95%, ofreciendo una tecnología eficaz a los procesos de lixiviación en comparación de otros reactivos que cumplen la misma función.

**Palabras Claves:** Extracción de Oro, Sandioss, lixiviación.

## ABSTRAC

**TITLE:** GOLD EXTRACTION THROUGH THE PROCESS OF LIXIVIATION WITH THE SANDIOSS REAGENT OF THE, CHOCROCOÑA MINING YACIMIENTO, LLUSCO – CHUMBIVILCAS, CUSCO REGION.

**AUTHOR:** ROMERO GARCIA, Jimmy Octavio

**DESCRIPTION:**

Currently the metallurgical industry has taken an important role in the technological context in search of new technologies that replace the traditional ones, be efficient, economical and profitable, with the purpose of extracting gold from gold minerals through the leaching process.

The objective of this research thesis is to determine the percentage of Gold extraction through the leaching process with the Sandioss reagent, applied to eluvial pleasure-type minerals that contain quartz in greater proportion, gravel, sand and silt. For which an experimental study of explanatory - descriptive character was carried out.

The operating conditions for the experimental process were pH 12 (alkaline medium), granulometry of 65% -200 meshes, temperature and pressure at normal conditions, dependent variables such as leaching time (24 to 48 hours), reagent concentration (0.03 a 0.05) and% of solids in pulp (25 to 30), obtaining a result of 98% Gold extraction in a time of 48 hours, this being the most influential variable and with more significance in the process.

According to the results obtained, it can be concluded that the Sandioss leaching reagent offers approximately 95% high level of Gold extraction, offering effective leaching processes compared to other reagents that fulfill the same function.

**Keywords:** gold extraction, Sandioss, leaching.

## INDICE

Resumen	v
Abstrac	vi
Índice	vii
Lista de figuras	xi
Lista de tablas	xii
Lista de diagramas	xiii
Simbología	xiv
Introducción	1

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación del problema de investigación	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.1 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación del estudio	4
1.4.1 Justificación social	4
1.4.2 Justificación económica	4
1.4.3 Justificación ambiental	5
1.4.4 Justificación tecnológica	5

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes o estado de arte	6
2.2 Bases teóricas y técnicas	8
2.2.1 Mineralogía	8
2.2.2 Geología	9

2.2.3 Oro	11
2.2.4 Geoquímica del Oro	12
2.2.5 Metalurgia del oro	12
2.2.6 Lixiviación	13
2.2.7 Métodos de lixiviación	14
2.2.7.1 Lixiviación in place-in situ	14
2.2.7.2 Lixiviaciones en bateas	15
2.2.7.3 Lixiviaciones en botaderos	16
2.2.7.4 Lixiviación en pilas	17
2.2.7.5 Lixiviación dinámica	18
2.2.8 Cinética del cianuro de sodio	19
2.2.9 Uso del Cianuro en la extracción de Oro	20
2.2.10 Cianuración	20
2.2.11 factores que afectan la disolución de oro	23
2.2.12 reacciones en la disolución de Oro	24
2.2.13 Lixiviación con Sandioss	25
2.2.13.1 Componentes del reactivo Sandioss	25
2.2.13.2 Ventajas de la lixiviación con Sandios	26
2.2.13.3 Composición química de Sandioss en elementos pesados	27
2.2.13.4 Condiciones y parámetros operacionales con Sandioss	27
2.2.14 Diseño experimental	30
2.2.14.1 Objetivo del diseño experimental	30
2.2.14.2 Diseño factorial	31
2.2.14.3 Diseño factorial $2^K$	31

### **CAPITULO III**

#### **HIPÓTESIS Y VARIABLES**

3.1 Hipótesis	35
3.1.1 Hipótesis general	35
3.1.2 Hipótesis específica	35
3.2 Variables	35
3.2.1 Variables independientes	35
3.2.2 Variables dependientes	35



2.2.3 Variables intervinientes	36
3.3 Indicadores	36
3.4 Operacionalización de variables	36

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA**

4.1 Ámbito de estudio	38
4.2 Tipo y nivel de investigación	40
4.2.1 Tipo de investigación	40
4.2.2 Nivel de investigación	40
4.3 Unidad de análisis	41
4.4 Población, muestra y tamaño de muestra	41
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	42
4.6 Equipos materiales y reactivos	42
4.7 Procesamiento y análisis de datos	43
4.8 Procedimiento experimental	44
4.8.1 Preparación mecánica del mineral	46
4.8.2 Tiempo de molienda	46
4.8.3 Condiciones operativas para la lixiviación	49
4.8.5 Proceso de lixiviación del mineral	51
4.8.6 Análisis de titulación	54
4.8.7 Reactivos para titulación	55
4.8.8 Variables del proceso	55

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS EXPERIMENTALES**

5.1 Resultados de extracción de oro según análisis químico	57
5.2 Resultados de porcentaje de extracción de Oro	57
5.3 Cinética de lixiviación	67
5.4 Diseño experimental mediante análisis factorial	68

## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Análisis de resultados mediante análisis químico	76
6.2 Análisis de los resultados mediante diseño factorial	76
Conclusiones	78
Recomendaciones	79
Referencia Bibliografía	80
Apéndices	82
Anexos	95

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Tipos de placeres de Oro	9
Figura 2. Formación de ladera rocosa de la zona	10
Figura 3. Tipos de lixiviación In place- in situ	14
Figura 4. Botaderos	17
Figura 5. El cianuro en minas auríferas	22
Figura 6. Grafica % de extracción vs tiempo	30
Figura 7. Diseño factorial $2^3$ , representación geométrica	32
Figura 8. Ubicación de la provincia de Chumbivilcas	39
Figura 9. Localización de la mina Chocrocoña	40
Figura 10. Grafica tiempo de molienda vs %-200 mallas	47
Figura 11. Ajuste lineal de la gráfica de molienda	48
Figura 12. Grafica de barras	67
Figura 13. Extracción de Au vs tiempo	68
Figura 14. Efectos normales estandarizados para la respuesta	74
Figura 15. Diagrama de Pareto	74
Figura 16. Grafica de cubos	75
Figura 17. Efectos principales de cada variable para la respuesta	75

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Propiedades físicas del Oro	11
Tabla 2. Composición del agente de extracción de Oro Sandioss	25
Tabla 3. Composición química de Sandioss en elementos pesados	27
Tabla 4. Condiciones de operación y parámetros del Sandioss	28
Tabla 5. Operacionalización de variables	37
Tabla 6. Determinación del tiempo de molienda	47
Tabla 7. Condiciones operacionales para el proceso	49
Tabla 8. Balance de pulpa	50
Tabla 9. Condiciones operativas de todas las pruebas	50
Tabla 10. Variables de operación	51
Tabla 11. Componentes adicionados al reactor	54
Tabla 12. Variables del proceso en niveles	56
Tabla 13. Reporte de análisis Químico	57
Tabla 14-23. Balance de cabeza calculada de pruebas 1-10	58
Tabla 24. Porcentaje de extracción calculada	66
Tabla 25. Extracción de Oro en tiempos	67
Tabla 26. Factores y niveles para la aplicación del proceso experimental	69
Tabla 27. Matriz de diseño factorial	69
Tabla 28. Matriz de experimentos	70
Tabla 29. Matriz de variables independientes	70
Tabla 30. Calculo de efectos	71
Tabla 31. Suma de cuadrados de los efectos	71
Tabla 32. Análisis de la varianza	72
Tabla 33. Tabla Anova	73

**LISTA DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1. Proceso de lixiviación	13
Diagrama 1. Procesos unitarios asociados a los Métodos de lixiviación	19
Diagrama 1. Procedimiento experimental	45

**SIMBOLOGÍA**

<b>g</b>	:	Gramos
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	:	Gramos por centímetro cubico
<b>g/TM</b>	:	Gramos por tonelada métrica
<b>g/L</b>	:	Gramos por litro
<b>mL</b>	:	Mililitros
<b>mg</b>	:	Miligramos
<b>mg/L</b>	:	miligramos por litro
<b>ppm</b>	:	Partes por millón
<b>h</b>	:	horas
<b>Kg</b>	:	kilogramos
<b>Rpm</b>	:	Revoluciones por minuto
<b>W</b>	:	Peso
<b>μ</b>	:	Micrones
<b>pH</b>	:	Potencial de hidrogeniones
<b>°C</b>	:	Grados centígrados

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la extracción de Oro mediante el proceso de lixiviación con el reactivo Sandioss aplicado a minerales auríferos del yacimiento minero Chocrocoña ubicado en el distrito de Llusco, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco es un aporte tecnológico importante, el reactivo aplicado a la investigación posee una mezcla de compuestos que lo convierten en un compuesto soluble capaz de asegurar la extracción de metales preciosos como el Oro.

Se vio la importancia y la necesidad de evaluar otro tipo de reactivo lixivante capaz de brindar resultados óptimos y eficientes en reemplazo de otras tecnologías tradicionales, de manera que se pueda aplicar de forma segura en el proceso, que proponga una tecnología limpia aplicable a la industria minero-metalúrgica.

Se determinara el porcentaje de extracción de Oro, mediante el proceso de lixiviación con el reactivo en mención (Sandioss), evaluando el tiempo de lixiviación, el porcentaje de sólidos en pulpa y la concentración del lixivante.

El estudio realizado consta de cinco bloques, en ellos se trata la problemática de investigación (capítulo 1), marco teórico (capítulo 2), hipótesis y variables (capítulo 3), metodología (capítulo 4), resultados experimentales (capítulo 5) y discusión de resultados (capítulo 6).

Investigaciones previas señalan la importancia de cumplir con estos requisitos antes mencionados, este reactivo lixivante es llamado Sandioss obtiene buenos resultados en la aplicación experimental y que trabaja en las mismas condiciones a la de otros reactivos como el Cianuro de Sodio.

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema

Ante la expectante situación de los precios del Oro en el mercado mundial y por ser uno de los metales de mayor valor económico, es importante buscar y plantear nuevas tecnológicas de manera que se pueda aplicar de forma segura y reemplazando eficazmente a los procesos hidrometalúrgicos tradicionales, en la extracción de Oro a partir de los minerales auríferos, permitiendo obtener resultados satisfactorios en el proceso.

Actualmente en el Perú para la extracción de Oro a partir de minerales auríferos, se adopta técnicas de Lixiviación con reactivos que puedan resultar eficaces, pero presentan limitaciones en el control, manipulación, transporte y tratamiento, son muy tóxicos creando impactos potenciales en la salud y el medio ambiente.

Desde hace varios años se extrajo Oro a partir de minerales auríferos de tipo placer eluvial del yacimiento minero Chocrocoña en forma empírica por medio de técnicas como la concentración gravimétrica y posteriormente mediante amalgamación, teniendo como resultado bajas extracciones debido a que el metal precioso se presenta a una granulometría fina y ultra- fina en los minerales, obteniendo bajas rentabilidades ante los costos de operación y no resulta económicamente el tratamiento de estos minerales.

Teniendo en cuenta las actuales y futuras exigencias tecnológicas, ambientales y económicas, está la necesidad de investigar y emplear reactivos lixiviantes de Oro que sean rentables, no tóxicos, económicos, facilidad de adquisición y sencilla manipulación.

En consecuencia, este trabajo de investigación se realizó con el reactivo Sandioss aplicado a la lixiviación de estos minerales, en las condiciones recomendadas por el fabricante con el fin de obtener resultados satisfactorios y afirmar estudios anteriores.



## **1.2. Formulación del Problema de Investigación**

### **1.2.1. Problema general.**

Frente a lo expuesto se plantea la siguiente interrogante:

- ¿Se podrá extraer Oro en el proceso de lixiviación por agitación usando el reactivo Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco- Chumbivilcas región Cusco?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

Los problemas específicos son:

- ¿Qué tiempo de lixiviación se requiere para extraer Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas, región Cusco?
- ¿Cuánto será el porcentaje de sólidos en pulpa para la extraer Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas, región Cusco?
- ¿Qué concentración de reactivo se requiere para extraer Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas, región Cusco?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

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

- Determinar el porcentaje de extracción de Oro, mediante el proceso de lixiviación con Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar el tiempo de lixiviación óptimo para la extracción de Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.

- Evaluar el porcentaje de sólidos en pulpa para extracción de Oro en el proceso de lixiviación Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.
- Evaluar la concentración del reactivo Sandioss para la extracción de Oro en el proceso de lixiviación de minerales del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.

#### **1.4. Justificación del Estudio**

El trabajo de investigación se realizó con el fin de reemplazar los métodos tradicionales por otro más eficaz en la extracción de Oro a partir de minerales auríferos de los placeres eluviales, presentamos a continuación el impacto que genera la investigación en diferentes niveles:

##### **1.4.1. Justificación social.**

Disminuir y minimizar los riesgos que pueden ocasionar en las relaciones con las comunidades aledañas al yacimiento, cuidando siempre la salud y la integridad de las personas afectadas a las operaciones donde se aplica este producto ecológico llamado Sandioss y lograr la formalización de los mineros artesanales informales.

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

La comercialización del producto lixivante Sandioss es un compuesto que contiene una mezcla de Oxido de Sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), Nitrógeno(N), Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Ferro-Cianuro de Sodio ( $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), Agua, Calcio, Hierro e Insolubles en agua, es de adquisición accesible, no necesita fiscalización en la compra a comparación de otros reactivos lixivantes de Oro, evitando gastos en trámites de permisos, transporte, manipulación y son relativamente baratos.

### **1.4.3. Justificación ambiental.**

Teniendo en cuenta las exigencias ambientales actuales y futuras, es útil aplicar reactivos químicos amigables ambientalmente como el reactivo lixivante ecológico Sandioss, con el cual se puede controlar el riesgo potencial en su manipulación, protegiendo el agua, aire y suelo evitando problemas medioambientales, ni la pérdida de especies de la flora y fauna de la región y el país.

### **1.4.4. Justificación tecnológica**

Contribución y aporte académico y tecnológico a la industria metalúrgica, mejoras en los procesos de lixiviación para la extracción de Oro con nuevas tecnologías hidrometalúrgicas con el reactivo Sandioss, de tal manera que las empresas mineras puedan evaluar y determinar, si es rentable para su aplicación a nivel industrial, es por ello que se evalúa la búsqueda y aceptación de nuevas rutas que sean de fácil manipulación y adquisición en el mercado, como el agente químico denominado Sandioss.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes o estado de arte

##### 2.1.2. Antecedentes locales.

**Orcoapaza y Taype (2019)**, en la tesis titulada "evaluación de variables en la lixiviación por agitación con Gold max para la extracción de Oro del yacimiento de Ayahuay – Apurímac" (Cusco, Perú), tuvo como objetivo evaluar las variables del proceso de lixiviación con el reactivo Gold MAX aplicado a los minerales de Ayahuay, la metodología utilizada es cualitativa experimental de carácter descriptivo explicativo. Los resultados obtenidos en la investigación a ciertas condiciones permitió obtener una extracción de 96.16 % de Au, finalmente los parámetros obtenidos para mejorar el proceso de extracción fueron: Granulometría: 83.1 % -200M, Concentración de reactivo: 0.025% y Tiempo de lixiviación: 40 hr. La investigación se realizó a base del diseño experimental, con la finalidad de explicar las variables más significativas del proceso, para validar el diseño se utilizó el software estadístico Statgraphics.

##### 2.2.2. Antecedentes nacionales.

**Ccari (2018)**, en su tesis titulado "Lixiviación de minerales de oro con reactivo sandioss en la Empresa Minera Colibrí S.A.C" (Puno, Perú), tuvo como objetivo recuperar Oro utilizando reactivo sandioss por el método de lixiviación por agitación aplicado a minerales oxidados minerales oxidados. El porcentaje de extracción de oro alcanzada fue de 93,98 %, determinándose las variables óptimas como la concentración de reactivo Sandioss 0,8%, pH 11 y tiempo de lixiviación 72 horas. La lixiviación con reactivo Sandioss se comparó con la técnica de cianuración, donde los resultados obtenidos del porcentaje de extracción de Oro fueron similares.

**Huaco (2017)**, en su tesis “Evaluación del Porcentaje de Disolución de Oro en la Lixiviación con Sandioss mediante diseños experimentales” (Arequipa, Perú), tuvo como objetivo remplazar el uso del Cianuro de Sodio con el reactivo lixivante Sandioss y buscar tecnologías limpias y eficientes extracción de Oro. El mineral usado para la investigación fue de tipo oxidado del proyecto minero Alccavictoria provincia de Chumbivilcas. Obteniendo como resultados un máximo de 83.77% de extracción, a 11 de pH, 0.4 concentración de reactivo y a 48 horas de lixiviación. Para el análisis de resultados el autor recurrió a diseños experimentales, con un diseño factorial 2k con replicas en el punto central del diseño, usando el Software Estadístico Minitab 16, donde según los gráficos la variable de mayor influencia fueron la concentración del reactivo y el tiempo de lixiviación.

**Padierna y Zegarra (2016)**, en su tesis “Recuperación de Oro utilizando Sandioss como alternativa al Cianuro de Sodio en la Lixiviación Alcalina por Agitación de Minerales tipo Oxido, Sulfuro y Carbonaceo” (Trujillo, Perú), tuvo como objetivo comprobar la extracción de Oro utilizando el reactivo Sandioss como alternativa al Cianuro de Sodio aplicado a minerales oxidados, sulfurados y carbonaceos provenientes de la región libertad, haciendo un trabajo comparativo a similares condiciones operativas. Obteniendo como resultados con el reactivo lixivante Sandioss y el Cianuro de Sodio a 72 horas de lixiviación, se obtuvo para el mineral sulfuro 83.36% y 85.91% respectivamente, para el mineral tipo óxidos se obtuvo 93.46% y 95.01% y para el mineral carbonáceo se obtuvo 40.86% y 38.01% respectivamente; Concluyendo que la recuperación de Oro utilizando Sandioss es similar al obtenido con Cianuro de Sodio.

### **2.1.3. Antecedentes internacionales.**

**Mining and Metallurgical Engineering (2015)**, en el trabajo de investigación titulado "Aplicación de reactivo de lixiviación amigable con el medio ambiente para el procesamiento de concentrado de Oro", se realizó una prueba de investigación con el fin de extraer Oro con el reactivo de lixiviación amigable con el medio ambiente (ecológico), denominado Sandioss. El concentrado de Oro se sometió a tostación con sulfato y lixiviación con ácido sulfúrico de esmalte de cobre. Los resultados obtenidos muestran que la lixiviación de oro puede alcanzar el 97.47% en las condiciones óptimas como: dosis del Sandioss 10 kg/t, la relación solido-liquido de 1.5, tiempo de lixiviación de 48 horas e hidrato de sodio como protector alcalino. La tasa de absorción del carbón activado de la cascara de coco en el licor de lixiviación puede alcanzar hasta el 99% y más. Los resultados de la investigación proporcionan una ayuda técnica para la sustitución del cianuro de sodio tradicional en la extracción de Oro.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Mineralogía.**

El mineral aurífero utilizado para este proyecto de investigación proviene del yacimiento minero Chocrocoña, es de tipo placer coluvial puesto que resulta de una alteración natural y desprendimiento in- situ de los macizos rocosos a la largo de una ladera, produciendo una fragmentación de los minerales. La muestra se obtuvo de un lote extraído para el proceso de amalgamación, se realizó la determinación de contenido de Oro en cabeza que será utilizado en la fase experimental y posteriormente obtener resultados del proceso.

El objetivo principal del estudio mineralógico es la identificación de especies minerales de Oro y su asociación mineralógica en la que se encuentra, para la cual se utilizó un microscopio y la técnica análisis químico cuantitativo.

La identificación de especies minerales en la muestra son las siguientes:

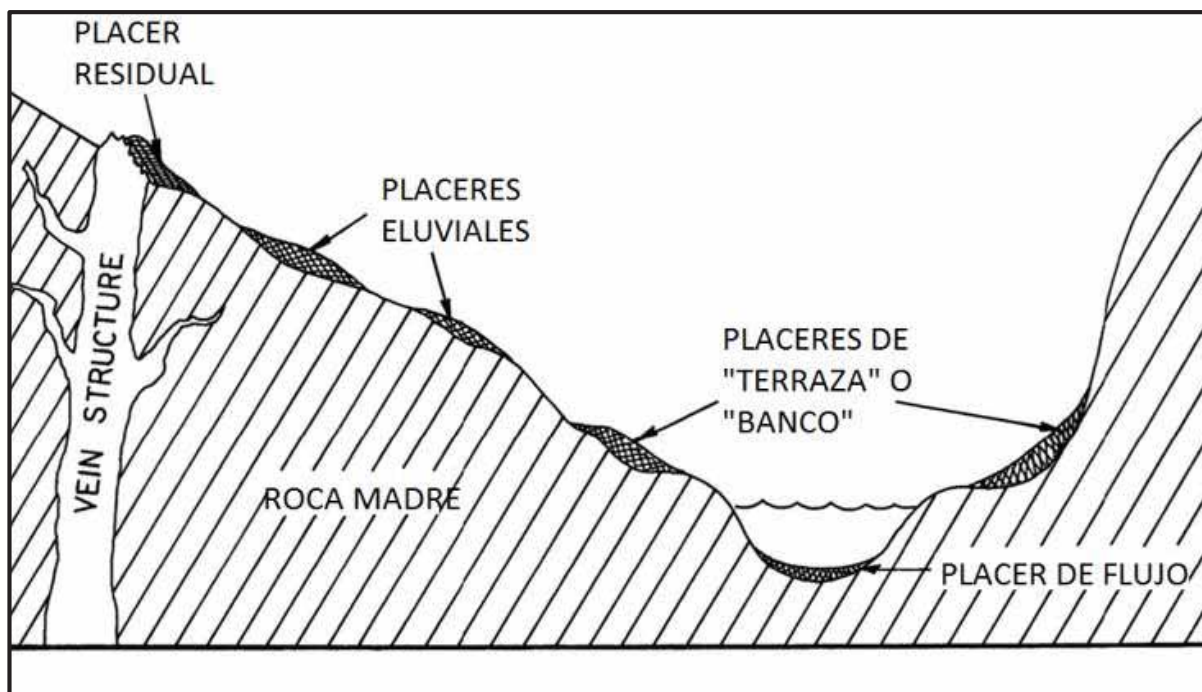
- Oro Au
- Plata Ag
- Cuarzo SiO<sub>2</sub>

y acompañado de algunas especies como:

- Limo
- Grava
- Arena

### 2.2.2. Geología.

La ladera del yacimiento presenta afloramientos rocosos de materiales volcánicos y sedimentarios, así como depósitos cuaternarios (fluvial, aluvial y coluvial). En cuanto a la litología expuesta en el deslizamiento y alrededores, esta se trata de cuarcitas y areniscas calcáreas fracturadas y muy alteradas. Estos materiales fracturados y alterados, debido a la saturación del terreno por las precipitaciones intensas de estos meses, son muy susceptibles a generar movimientos de masa, como se muestra en la figura 1.



. Figura 1. Tipo de placeres de Oro.

**Fuente:** geología de oro aluvial.

la zona se encuentra formada por una cadena de montañas en rocas sedimentarias plegadas, disectadas por procesos de erosiones de ladera, donde se encuentran cubiertas por material detrítico coluvial, figura 2.



**Figura 2.** Formación de ladera rocosa de la zona.

**Fuente:** elaboración propia.

Los depósitos cubren grandes extensiones en los flancos de los valles principales, y en los flancos de los ríos. Bajo la acción del agua, los productos eluviales se pueden movilizar y formar huaycos o flujos de barro (cantos angulosos de tamaño muy variable, envueltos por una matriz areno-arcillosa), de color rojizo. Algunas veces los depósitos coluviales alcanzan un espesor de varios centenares de metros y son muy antiguos (INGEMMET, 2011).



### 2.2.3. Oro.

El Oro es un metal de transición amarillo brillante por reflexión de luz, en láminas delgadas es azul o verde. Posee una alta ductilidad y maleabilidad con respecto a otros metales, siendo muy blando en estado puro por lo que puede ser usado en actividades como la joyería, la industria y la electrónica por su excelente resistencia a la corrosión, generalmente se alea con otros metales como plata, cobre, etc. no reacciona con la mayoría de productos químicos, no es soluble en Ácido Sulfúrico, Sulfato Férrico, Ácido Clorhídrico o Cloruro Férrico, pero es sensible y soluble con Cianuro de Sodio, Mercurio, Agua Regia (Ácido Nítrico y Clorhídrico concentrados) y en Acido Selénico. También en soluciones de Ácido Sulfúrico que contienen Cloruros y Bióxidos de Manganeso, en Tiosulfatos de Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio. En la tabla 1, se presenta algunas propiedades físicas que posee el metal precioso.

El Oro no se oxida a temperatura ambiente y no se combina con el Azufre libre, pero forma aleaciones con mayor parte de los metales, como, por ejemplo: con el Mercurio, formando amalgama de Oro.

**Tabla 1.**

*Propiedades Físicas del Oro.*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL ORO</b>	
Numero atómico	79
Densidad	19.32 g/cm <sup>3</sup>
Punto de Fusión	1063°C
Punto de Ebullición	2970°C
Dureza	2.5-3(Escala de Mohs)

**Fuente:** Bautista, P. Química y su impacto en la salud y medio ambiente, 2013.

#### **2.2.4. Geoquímica del Oro.**

El Oro por ser el elemento número 79, abundante en la corteza terrestre con un contenido en promedio de 0.004 ppm, desde el punto de vista geoquímico es un elemento siderofilo, ya que es fácilmente soluble en Hierro fundido y tiene poca afinidad con el oxígeno y con el Azufre; Sin embargo, acompaña a elementos calcofilos en la litosfera superior. Se encuentra asociado con Plata, Arsénico, Antimonio, Selenio, Teluro en depósitos preciosos y con el Hierro, Zinc y Cobre en depósitos de Sulfuros.

El oro nativo ( $\text{Au}^0$ ) se encuentra en filones dentro de rocas preferentemente cuarcíferas y muchas veces asociados a pirita y arsenopirita. Se presenta en placas irregulares, escamas o masas, en agregados arborecipientes o laminares y raras veces en cristales. La abundancia de este metal en las rocas ígneas y sedimentarias es de 0.005 ppm; En suelos representa el 0.002 ppm y en el agua de mar el 0.00001 ppm.

#### **2.2.5. Metalurgia del Oro.**

Una de las maneras en la cual se puede extraer el oro de los placeres, es recurriendo a la operación de la Concentración Gravimétrica, por el peso específico que este metal presenta, que es de  $19.3 \text{ gr/cm}^3$  y la ganga fluctúa alrededor de  $2.6 \text{ gr/cm}^3$ .

El Oro que se encuentra combinado químicamente o dispersado en un grano más fino en la mena, no puede recuperarse con facilidad. En algunos casos suele encontrarse en combinación con la Plata, pero en aquellas menas en las que figura como el metal principal puede extraerse por operaciones y/o procesos de:

- Amalgamación.
- Cianuración.
- Cloruración.

Algunas combinaciones de concentración gravimétrica, flotación, tostación, cianuración, etc.

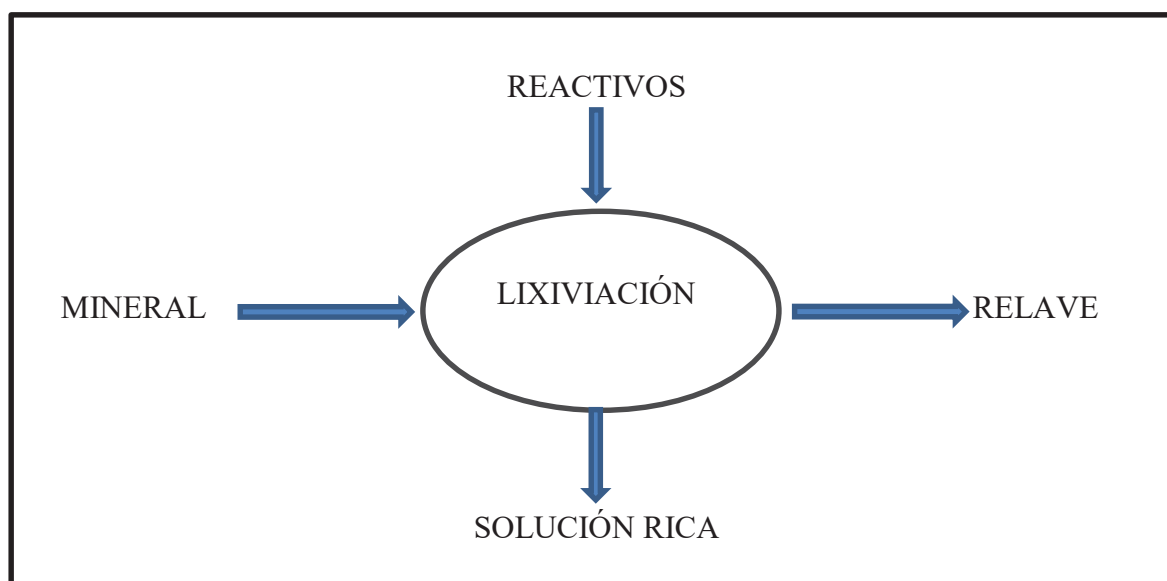
### 2.2.6. Lixiviación

Es un proceso en el cual se pone en contacto físico, un sólido debidamente preparado y pulverizado con un agente químico o un disolvente líquido produciéndose la disolución de uno de los componentes del sólido. La palabra lixiviación viene del latín: "Lixivia,-ae" que significa lejía. Antiguamente en el Imperio Romano se usaba este término para referirse a los jugos que destilan las uvas antes de pisarlas, o las aceitunas antes de molerlas.

Actualmente, se denomina lixiviación, al lavado de un sólido pulverizado con el fin de extraer las partes solubles.

El autor considera una teoría de lixiviación con estas palabras:

*El procedimiento de recuperación de un metal de una mena, mediante un disolvente y la separación de la solución resultante de la porción sin disolver, se conoce como lixiviación. En cualquier procedimiento de lixiviación hay tres factores importantes: poner el disolvente en contacto con el material que se ha de lixiviar, con el fin de permitir la disolución del metal; separar la solución formada del residuo sólido y precipitar el metal de la solución. Lo corriente es realizar estas operaciones en el orden indicado. (Ruiz, M, 2007, p.7).*



**Diagrama 1.** Proceso de lixiviación.

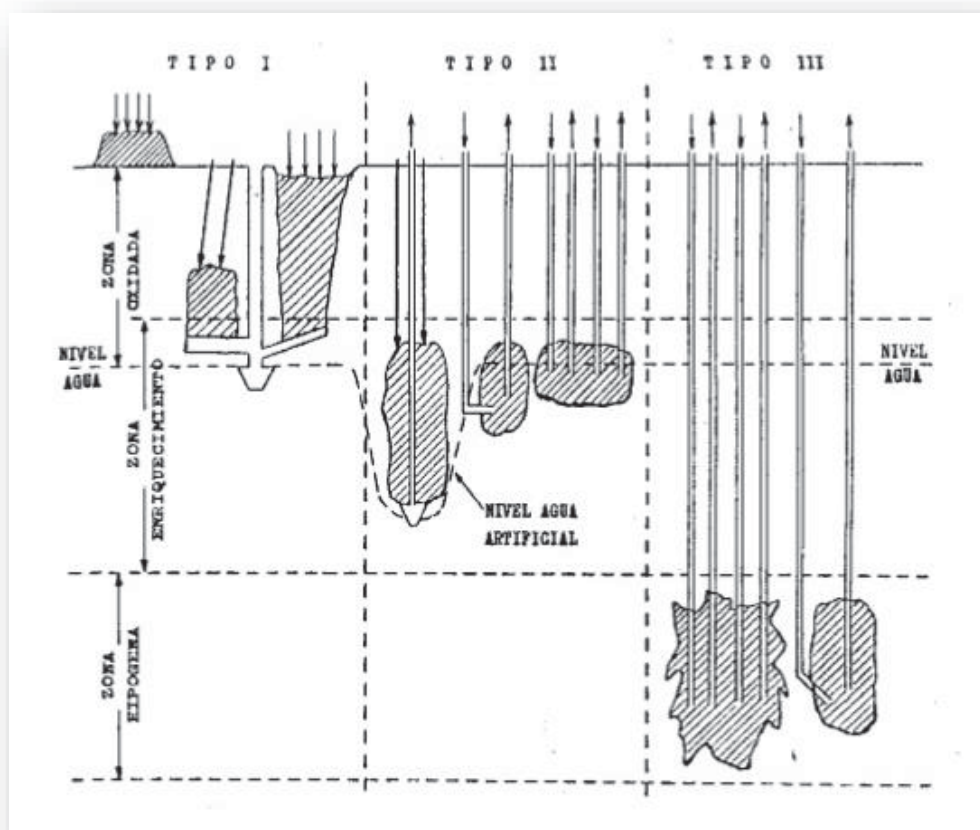
**Fuente:** Castells. X. E, 2012, pag.690

## 2.2.7. Métodos de lixiviación

### 2.2.7.1. Lixiviación *IN PLACE-IN SITU*.

El método de lixiviación *IN PLACE* es una técnica de lixiviación aplicada a residuos sólidos ya fragmentados posteriores a una etapa de explotación de menas, dejados en minas abandonadas.

El método de lixiviación *IN SITU*, se aplica a un cuerpo mineralizado expuesto a la vista, es decir no escondido, la mena puede ser tratada rociando la solución directamente sobre la superficie de los minerales. Dependiendo de la zona a lixiviar, que pueden ser menas subterráneas o superficiales. En la figura 3, se representa los tres tipos de este método que a continuación se definirá cada una.



*Figura 3.* Tipos de lixiviación in place-in situ.

**Fuente:** Cáceres A. G. Hidrometalurgia, 2014.

- **Tipo I.** Se trata de la lixiviación de cuerpos mineralizados fracturados situados cerca de la superficie, sobre el nivel de las aguas subterráneas. Puede aplicarse a minas en desuso, en que se haya utilizado el "block caving", o que se hayan fracturado hidráulicamente o con explosivos.
- **Tipo II.** Es aplicada a yacimientos situados a cierta profundidad, bajo el nivel de aguas subterráneas, pero a menos de 300 - 500 m de profundidad. Estos depósitos se fracturan en el lugar, la solución lixivante se inyecta y la solución PLS se extrae por bombeo a la planta de procesamiento.
- **Tipo III.** Es aplicada a depósitos minerales profundos, situados a más de 500 m bajo el nivel de aguas subterráneas. (Asto.U, 2014, p.34).

#### **2.2.7.2. Lixiviación en bateas (Vat Leaching).**

Este método de lixiviación consiste en poner en contacto la solución acuosa con el mineral, el cual percola por inundación del mineral en la batea o estanque. Los minerales a lixiviar deben poseer elevados contenidos metálicos y limpios, para que el periodo del proceso sea razonable de entre 3 a 14 días, de esa forma permitan amortizar el costo beneficio que requiere este tipo de proceso.

El método de la lixiviación en bateas normalmente utiliza el principio de contracorriente y el mineral que se encuentra en un estado estacionario.

La lixiviación se realiza inundando la batea con solución de lixiviación, las cuales se recirculan en sentido ascendente (caso que la solución de lixiviación entra por el fondo de la batea y rebalsa en la parte superior) o descendente (caso en que la solución entra por la parte superior o por el fondo pero es retirada por el fondo) y luego son traspasadas a la batea siguiente. Se crean programas de lixiviación de las bateas de modo que la solución de mayor concentración de ácido se pone primero en contacto con mena con menor contenido metálico (material parcialmente lixiviado), y a medida que la concentración de ácido de la solución

disminuye, se pone en contacto con menas de contenido creciente de metal. El método de flujo ascendente se utiliza por lo general cuando el flujo de soluciones es continuo a través de una serie de bateas. El método de flujo descendente es el método más común en lixiviación discontinua (batch).

Este método de lixiviación en bateas es altamente efectivo y generalmente se logra entre 85 y 90% de recuperación del mineral soluble. Se aplica esta técnica de lixiviación a minerales que presentan una cinética de disolución rápida. El ciclo completo generalmente es muy corto, entre 6 y 14 días.

La mena, triturada normalmente a  $-3/4''$  o  $-1/2''$ , se carga en bateas o estanques con forma geométrica de paralelepípedo, protegidos interiormente por revestimientos antiácidos y equipados con un fondo falso y un medio filtrante.

### ***2.3.7.3. Lixiviación en botaderos.***

Esta técnica consiste en lixiviar lastres, desmontes o sobrecarga de minas de tajo abierto, los que debido a sus bajas leyes (menores de 0.4%) no pueden ser tratados por métodos convencionales. Este material, generalmente al tamaño "run of mine" es depositado sobre superficies poco permeables y las soluciones percolan a través del lecho por gravedad. Normalmente, son de grandes dimensiones, se requiere de poca inversión y es económico de operar, pero la recuperación es baja (40 - 60%) y necesita tiempos excesivos para extraer todo el metal.

Lixiviación en botaderos; es el tratamiento de minerales de bajas leyes, conocidos como "estéril mineralizado" y/o ripios de lixiviación.

Entre las diferentes razones para ello se puede mencionar:

- Gran tamaño de algunas rocas ( $> 1$  m).
- Baja penetración de aire al interior del botadero. Compactación de la superficie por empleo de maquinaria pesada.

- Baja permeabilidad del lecho y formación de precipitados.
- Excesiva canalización de la solución favorecida por la heterogeneidad de tamaños del material en el botadero.



*Figura 4.* Botaderos.

**Fuente:** Cáceres A. G. Hidrometalurgia, 2014.

#### **2.2.7.4. Lixiviación en pilas.**

Se basa en que la solución lixivante percola a través de un mineral chancado y apilado, el que está formando una pila sobre un terreno previamente protegido e impermeabilizado. Para el mejor contacto de la solución y la pila, se riega por aspersión o goteo. Se aplica a minerales de alta ley debido a los costos de operación y transporte.

En la construcción, existen dos tipos de pila según su operación.

- Pila permanente (capas múltiples).
- Pila renovable o reutilizable.

Las pilas renovables y permanentes pueden adoptar la configuración de:

- Pila unitaria: todo el material depositado pasa por todas las etapas del ciclo de lixiviación, permitiendo una operación más simple y flexible.
- Pila dinámica: coexisten materiales que están en diversas etapas del ciclo de tratamiento.

#### ***2.2.7.5. Lixiviación por agitación.***

El proceso de lixiviación por agitación es el método más utilizado para la disolución del Oro, se efectúa agitando constantemente la pulpa conformada por el mineral reducido y los reactivos de lixiviación. Este método es aplicado a menas que poseen alta ley de Oro (mayores de 10 g/TM) y concentrados con leyes mayores de 30 g/TM, alcanzando altas extracciones de Oro, por tener alta velocidad de reacción.

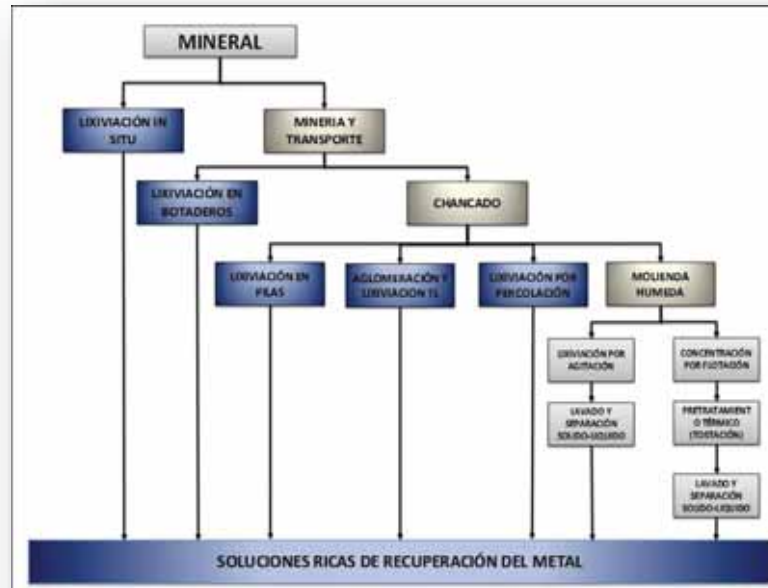
El mineral que se procesa se encuentra usualmente entre 65% -200 mallas e inclusive a menos de 400 mallas y a un porcentaje de sólidos en pulpa de 25 – 30 %.

En el caso de la lixiviación por agitación varía desde pocas horas hasta 48 horas aproximadamente, las razones de esta alta velocidad de extracción de Oro se deben a lo siguiente:

- Tamaño de partícula (bastante pequeña) que abarca una alta superficie esférica como resultado de la alta agitación.
- El espesor de la capa límite es mínimo y por lo tanto la velocidad de disolución de Oro se incrementa
- La cinética de reacción es rápida debido a que el mineral posee mejor liberación, producto de la reducción de tamaño del mineral en la etapa de trituración y molienda.

El costo de instalación, y operación que involucra son amortiguados por la alta extracción de metal que ofrece y a un menor tiempo de operación (horas), a comparación de otra técnica de lixiviación como el de pilas o bateas.





*Diagrama 2.* Procesos unitarios asociados a los principales métodos de lixiviación.

**Fuente:** Domic Mihovilovic, 2004.

### 2.2.8. Cinética del Cianuro de Sodio.

La velocidad de reacción en el proceso de Cianuración podría verse modificado por los siguientes factores:

- La velocidad de disolución depende del área superficial del metal en contacto con la fase líquida indicando de esta manera que el proceso de disolución es un proceso heterogéneo; también depende de la velocidad de agitación, lo que indica que el proceso sufre la presión de un fenómeno físico.
- La velocidad de disolución es favorecida ligeramente por el aumento de temperatura, en tal caso podría requerirse menor cantidad de O<sub>2</sub> y es directamente proporcional a la presión parcial del O<sub>2</sub>. También es favorecida ligeramente por la presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Este hecho aboga por la aceptación del planteamiento hecho por Bodlander.
- La velocidad de disolución se ve perjudicada, cuando el pH de la pulpa es menor que 11 debido y por otro lado se favorece la formación de Cupro y ferrocianuros y la

formación de HCN que constituye un riesgo para la salud de los trabajadores cuando se trabaja en medio ácido.

- Finalmente la velocidad de disolución se favorece con una mayor concentración de los iones CN hasta una concentración límite llegando a la cual no incrementa la disolución, más bien la retarda. (Chahuayo & Alejandro, 2012, citado en Mendo, 2016).

### **2.2.9. Uso del Cianuro de Sodio para la extracción de Oro.**

El cianuro es uno de los pocos reactivos químicos que disuelven el Oro en solución acuosa. Es un compuesto químico industrial común que en la actualidad su comercio, adquisición y manipulación que necesita de fiscalización.

Por razones técnicas y económicas, el cianuro es el compuesto químico empleado para la recuperación del oro a partir de minerales. Se utilizó desde 1800 en la extracción de metales preciosos como el Oro y la Plata, actualmente continúa su uso por muchas operaciones mineras en todo el mundo para extraer los metales en forma segura y económicamente rentable si se maneja las condiciones operativas adecuadas. 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 Sodio se utiliza para la extracción de placeres a partir del mineral, en particular minerales de baja ley y mineral que no puede tratarse fácilmente mediante operaciones y procesos físicos simples como la trituración, la separación por gravimetría, etc.

### **2.2.10. Cianuración.**

El uso de soluciones a base de agua para extraer y recuperar metales como el Oro se denomina hidrometalurgia. Las operaciones de minería del Oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón). El proceso de disolución de metales se denomina lixiviación. El cianuro de sodio se disuelve en agua donde, en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el Oro contenido en el

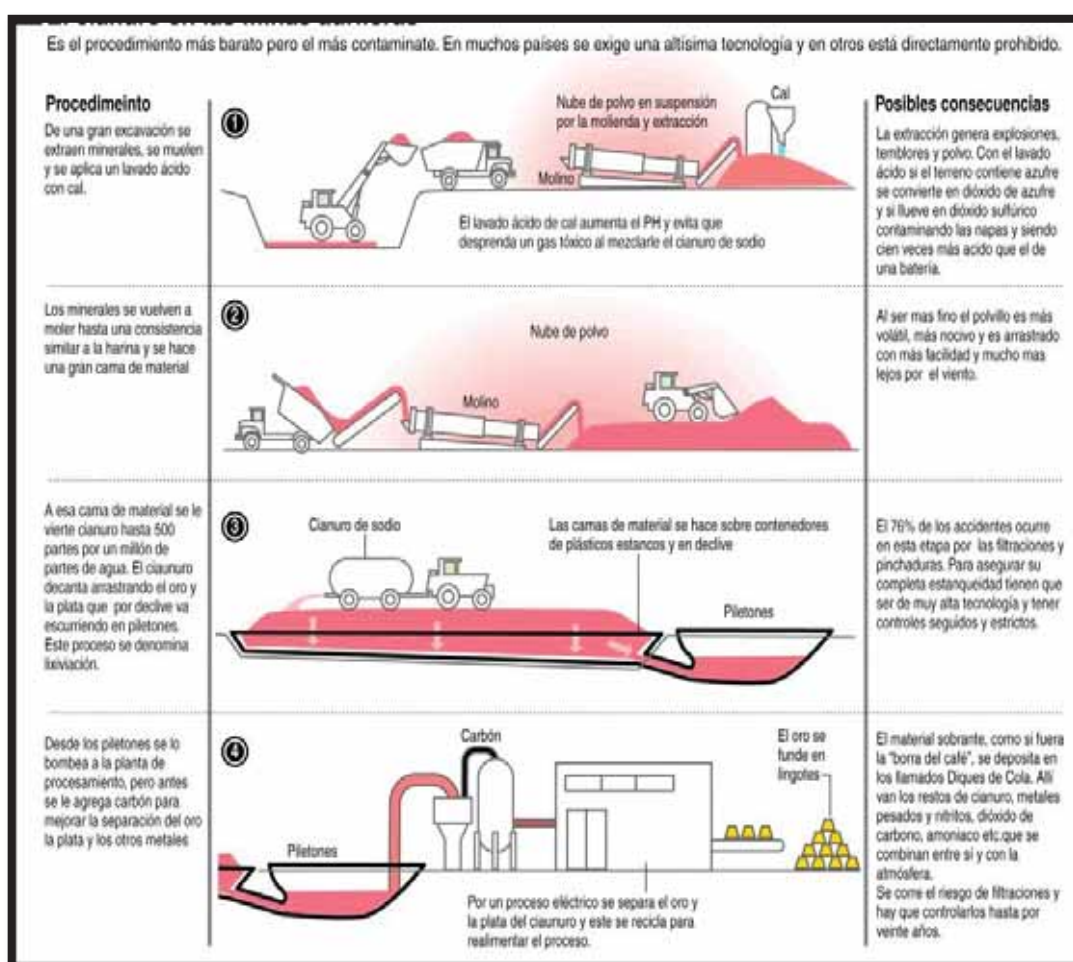
mineral. La solución resultante que contiene Oro se denomina “solución cargada”. Luego se agrega zinc o carbón activado a la solución cargada para recuperar el oro extrayéndolo de la solución. La solución residual o “estéril” (es decir, carente de Oro) puede recircularse para extraer más oro o enviarse a una instalación para el tratamiento de residuos.

Existen dos enfoques generales para la lixiviación del Oro de un mineral mediante el cianuro: la lixiviación en tanque y la lixiviación en pila (por percolación). La lixiviación en tanque es el método convencional por el cual el mineral aurífero se tritura y se muele hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro. En algunos casos se puede recuperar parte del oro de este material finamente molido como partículas discretas de Oro mediante técnicas de separación por gravedad. En la mayoría de los casos, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques para disolver el Oro en una solución de cianuro.

Cuando el oro se recupera en una planta convencional de lixiviación en tanque, la solución estéril se recogerá junto con los residuos sólidos (relaves) en un sistema de depósitos de relaves. Allí, parte de la solución permanecerá dentro de los poros de los relaves sedimentados y parte se decantará y se recogerá en un estanque encima de los relaves, desde donde se la recicla y se la envía nuevamente a la planta. En la mayoría de las plantas, debido a la acumulación de impurezas, algunas de las soluciones que contienen cianuro deben ser bombeadas a un sistema de tratamiento para su eliminación.

Los recientes avances técnicos permiten la lixiviación en pila de algunos minerales auríferos. Con este método, el mineral se tritura y se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se lo coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el Oro. Cuando se utiliza la tecnología de lixiviación en pila para extraer Oro, la solución estéril se recoge en un estanque que generalmente se recarga con cianuro y se recicla de regreso al sistema de lixiviación.

El uso del cianuro se usa en la Industria Química Orgánica como el nitrilo, el nylon, los plásticos acrílicos, otras operaciones como la Galvanoplastia, para el endurecimiento del acero, aplicaciones fotográficas, producciones de goma sintética, en medicina en insecticidas y pesticidas. En la industria minera se usa en la flotación como reactivo depresor de la ganga y pirritas, en la separación de cobre-bismuto y molibdeno caso Antamina, la mayor cantidad se usa en Cianuración del Oro. Como se muestra en la figura 5, el procedimiento de obtención de Oro mediante el proceso de cianuración por el método in-leachin.



**Figura 5:** El Cianuro en la Minas Auríferas.

**Fuente:** Extracción de oro con cianuro por el método carbón-in-leach. (Archivo del diario Río Negro-Argentina).

### **2.2.11. Factores que afectan la disolución de Oro en la cianuración.**

**A. Concentración de oxígeno.** La presencia del oxígeno es necesaria en el proceso de cianuración; siendo la disolución de oro directamente proporcional a la presión parcial de oxígeno y una deficiencia de este puede retardar la reacción, así como su elevado consumo por ciertos agentes consumidores de oxígeno como la pirrotita; para lo cual es necesario usar agentes oxidantes como el peróxido de oxígeno o airear la pulpa para compensar el consumo excesivo del oxígeno.

**B. Concentración de cianuro.** La velocidad de disolución de Oro aumenta al pasar de soluciones concentradas del lixivante a diluidas. La presencia del cianuro libre retarda la disolución en caso que se dé un alto consumo de cianuro debido a la formación de complejos. En condiciones normales el proceso de cianuración no es gobernado por la concentración de cianuro, siendo la concentración de oxígeno el factor fundamental.

**C. Tamaño de partícula.** El tamaño de partícula es directamente proporcional al tiempo de cianuración, aumentando el tiempo de cianuración a medida que las partículas son más grandes. Una partícula de oro de 45  $\mu$  de espesor no tardaría más de 12 horas en disolverse, y una de 150  $\mu$  de espesor no tardaría más de 48 horas. Cuando nos encontramos con oro libre grueso la práctica adecuada sería separarlo por gravimetría antes de la cianuración o cualquier otro proceso.

**D. Temperatura.** A mayor temperatura mayor disolución del oro, pero a su vez la cantidad de oxígeno disuelto en la solución disminuye. Por lo tanto, es indispensable trabajar con una temperatura óptima que permita un alto grado de disolución del oro sin afectar al proceso.

Por estudios realizados se ha determinado que esta temperatura sería de 85°C, pero como resulta desventajoso por el alto costo de operación, la mayoría de plantas han optado por trabajar con una temperatura ambiente.

**E. Alcalinidad de la solución.** Los álcalis usados son CaO, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; los cuales cumplen las siguientes funciones:

- Evita pérdidas de cianuro por hidrólisis.
- Evita pérdida de cianuro por acción del dióxido de carbono del aire.
- Descompone los bicarbonatos en el agua antes que reaccionen en la cianuración.
- Neutraliza los compuestos ácidos, como las sales ferrosas y férricas, Mg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Ayuda en la sedimentación de partículas finas.
- Mejora la extracción cuando se trata minerales conteniendo Telururos.
- El efecto del NaOH es menor que el de Ca(OH)<sub>2</sub>, pero este último afecta a la cantidad de oxígeno disuelto, este efecto se puede atribuir a la formación de peróxido de calcio en la superficie del metal, que evita la reacción con el cianuro.

#### **2.2.12. Reacciones de disolución de Oro en soluciones diluidas de cianuro.**

Se han propuesto las siguientes reacciones para la disolución del Au en soluciones de cianuro diluidas, las cuales son las de mayor significancia en el proceso de cianuración.

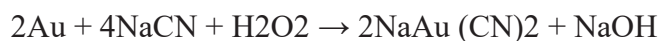
*Ecuación de Elsner:*



*Esta ecuación fue sugerida por Janin:*



*Ecuación de Bodlaender:*



Se ha determinado que el factor más importante en la cianuración es el oxígeno, por lo que la ecuación de Janin pierde credibilidad; las ecuaciones de Bodlaender consideran la importancia del oxígeno, pero el exceso de esta forma el ion cianato por la oxidación del ion cianuro.

### 2.2.13. Lixiviación con sandioss.

El proceso de lixiviación con el reactivo sandioss, se basa en que gracias a los elementos en su composición química pueden extraer y disolver el Oro a partir de los placeres auríferos y argentíferos; la extracción del metal puede llegar a porcentajes altos, entre 90 a 98% aproximadamente, el valor de extracción depende de las condiciones operativas del proceso. Normalmente trabaja en las mismas condiciones operativas que la cianuración.

El autor considera sobre la aplicación del reactivo de la siguiente manera:

El producto denominado Agente de Extracción de Oro Sandioss es un lixivante de oro, el cual reemplaza al 100% al cianuro de sodio y además es ecológico. El uso de este producto no varía el procedimiento ni los equipos usados en la lixiviación tradicional con cianuro. Este lixivante es aplicable para tratar oro diseminado, minerales oxidados, minerales mixtos, minerales sulfurados, concentrados de oro y relaves de cianuración, además puede lixivarse en montones, bateas, tanques agitadores y con carbón en pulpa. (Huaco, 2017, p. 11).

#### 2.2.13.1. Componentes del lixivante Sandioss.

**Tabla 2.**

*Composición del agente de extracción de Oro SANDIOSS.*

Nombre de los Componentes	Formula	N° CAS	Porcentaje de Peso %
Oxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	1313-59-3	35-50
Nitrógeno	N	7727-37-9	12-20
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	14798-03-9	7-12
Ferrocianuro de Sodio	Na <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ·10H <sub>2</sub> O	13601-19-9	7-12
Agua	H <sub>2</sub> O	7732-18-5	1-4
Calcio	Ca	7440-70-2	1-5
Hierro	Fe	7439-89-6	1-5
Insoluble en Agua	--- --	--- --	3-8

**Fuente:** MSDS (ficha de seguridad)- Lemcorp

En la tabla 2, se muestra los componentes del agente de extracción, fórmula química y porcentaje en peso.

### ***2.2.13.2. Ventajas de la lixiviación con Sandioss.***

Es un Producto exclusivo, aplicado a los procesos de lixiviación para extracción de metales como Oro, Plata, capaz de reemplazar al cianuro de sodio por las siguientes razones:

- ***Ecológico y de baja toxicidad.*** Producto químico ordinario, no inflamable, no explosivo, no oxidante, no radiactivo, menos tóxico, ecológico y seguro.
- ***Rendimiento estable.*** Reducción de la interferencia de sustancias nocivas como el arsénico, azufre, etc.
- ***Amplia aplicabilidad.*** Puede lixivarse en montones, bateas, tanques agitadores y con carbón en pulpa.
- ***Alta tasa de lixiviación.*** Lixiviación de los iones de oro de forma más rápida y eficiente que el cianuro de sodio y con una tasa de reciclado superior.
- ***Bajos tiempos de lixiviación.*** Los tiempos de lixiviación con Sandioss son menores o iguales a la cianuración esto dependerá mucho del tipo de mineral a utilizar.
- ***Bajo costo.*** Bajo costo de adquisición, transporte, almacenamiento, depósito, uso, operación y sistema de tratamiento para protección ambiental.
- ***Absorción selectiva.*** En el proceso de lixiviación el metal puede ser absorbido con el método del carbón activado en la pulpa y así mejorar separación de selectiva.
- ***Facilidad de aplicación.*** El proceso es sencillo y los equipos y herramientas son las mismas que para el uso de cianuro como reactivo, a diferencia que es más fácil de usar.
- ***Transporte conveniente.*** Se puede transportar de forma segura como una carga normal, por cualquier medio de transporte.



### 2.2.13.3. Composición química de SANDIOSS en elementos pesados.

En la tabla 3, se muestra la relación de elementos presentes en elementos pesados, como mercurio, zinc, etc.

**Tabla 3.**

*Composición Química de Sandioss en elementos pesados.*

Parameter	Units	LOR	Limit
Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry			
Pretreatment Method: HJ/299-2007			
Arsenic (As)	mg/L	0.005	≤5
Cadmium (Cd)	mg/L	0.0001	≤1
Chromium(Cr)	mg/L	0.001	≤15
Copper (Cu)	mg/L	0.001	≤100
Nickel (Ni)	mg/L	0.001	≤5
Lead (Pb)	mg/L	0.001	≤5
Zinc (Zn)	mg/L	0.005	≤100
Method: USEPA 6020A-2007			
Sample Number 13-03536.001			
Simple Matrix Solid			
Simple Description -			
Receive Date 2013/12/02			
Sample Number 13-03536.001			
Sample Number 13-03536.001			
Simple Matrix Solid			
Simple Description -			
Receive Date 2013/12/02			
Sample Number 13-03536.001			
Method: USEPA 7473-1998			
Pretreatment Method: HJ/299-2007			
Mercury (Hg)	mg/L	0.0001	≤0.1

**Fuente:** MSDS (ficha de seguridad)- Lemcorp.

### 2.2.13.4. Condiciones y parámetros operacionales con Sandioss.

Para la lixiviación de minerales con el reactivo Sandioss, se realizan con parámetros operacionales similares a la del Cianuro de Sodio, en la tabla 4. Se observa las condiciones operativas con sus parámetros, los cuales son:

**Tabla 4.**

*Condiciones de operación y parámetros para realizar pruebas con Sandioss.*

Granulometría	(93-96%- 200 MALLAS)		
Fuerza Sandioss sugerido	300 PPM - 400 PPM		
Densidad de Pulpa	30% - 35% Solidos		
Tiempo de Agitación sugerido	20-35 horas ( más corto que con Cianuro)		
PH – Operación	11 a 12		
Regulador PH	Cal y/o soda caustica (NAOH)		
	TIEMPO	temperatura ambiental recomendable	
	2 Horas		11 - 40 °C
CONTROL DE LIXIVIACION	5 Horas		
	8 Horas	PROCESO DE TITULACION	
	12 Horas		
	18 Horas	NITRATO DE PLATA (en solución)	4.33 g/L
	24 Horas		
	30 Horas	IODURO DE POTASIO (solución al 5%)	3 gotas
	35 Horas		
CONTROL- OPCIONAL		TAMAÑO DE ALICUOTA	25 ml
	40 Horas		
METODO RECUPERACION DE SOLUCIONES RICAS SEGÚN LOS CONTENIDOS DE PLATA			
CARBON ACTIVO (CIP-CIL)		POLVO DE ZINC (MERRIL CROWE)	

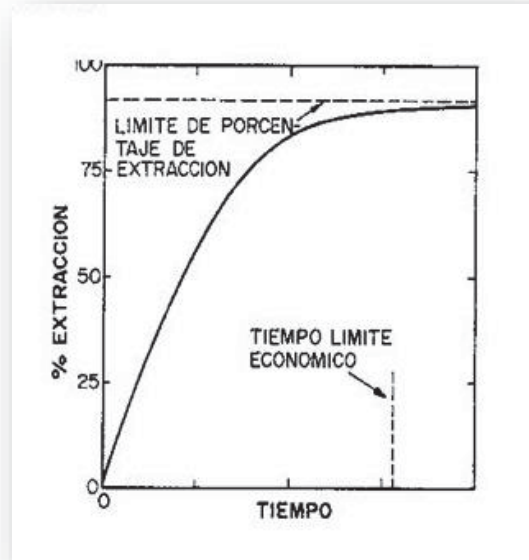
**Fuente:** MSDS (ficha de seguridad)- Lemcorp.

- **Granulometría.** En la etapa de molienda se debe obtener el grado óptimo para la exposición, un tamaño que no contenga un exceso de gruesos (mayor a 2mm), las cuales producen algunos problemas en la agitación y exceso de finos (menos de 40% menor a 75 micrones) que puedan dificultar la extracción de solución lixiviada.

Una granulometría adecuada para la el proceso de agitación en botella es de 70 a 80% - 200 mallas, esto dependerá de la composición química que presentan algunos minerales. Para minerales de tipo oxido que tienen muy pocos elementos en su composición la granulometría minima puede ser 60%- 200 mallas.

- **Temperatura.** La temperatura adecuada para el proceso fluctúa entre 10 – 40 °C, en tal caso una temperatura para obtener resultados satisfactorios (extracción de Oro) es necesario realizar el proceso de lixiviación a temperatura ambiente alrededor de 22 °C.
- **Concentración de Sandioss.** En principio, cada mineral posee una composición y pH distinto a otros, la concentración debe ser considerada por las características del mineral. La dosis del reactivo es de aproximadamente 500 ppm o a una fuerza de reactivo de 0.05%.
- **Alcalinidad de la solución.** como se mencionó anteriormente cada mineral posee un pH distinto a otro, generalmente se usa la cal (CaO) o la soda cáustica (NaOH) para regular y conservar la alcalinidad de la solución evitando problemas en el proceso, se recomienda un pH en un rango de 10 – 12.
- **Tiempo de lixiviación.** En el proceso de lixiviación en botella usando reactivo lixivante de cualquier tipo, existe una función directa entre el tiempo de lixiviación y el porcentaje de extracción del metal. Para el caso del reactivo Sandioss el tiempo máximo estimado es de 48 horas.

En la figura 6, podemos observar la línea de tiempo límite económico, de acuerdo al porcentaje de extracción, cuando el tiempo de lixiviación sobrepasa la línea el proceso ya no resulta económicamente rentable. Porque la línea de extracción tendría una pendiente muy baja y la extracción sería mínima.



**Figura 6.** Grafica % de extracción vs tiempo.

**Fuente:** Cáceres A. G. Hidrometalurgia, 2014.

#### **2.2.14. Diseño experimental.**

El diseño experimental es un conjunto de técnicas estadísticas activas clásicas, la cual busca la influencia de algunos factores que ingresan a un proceso en la variable de respuesta o interés, y si ocurre poder cuantificarlas. Mediante el diseño experimental podemos obtener información que se requiere para proponer mejoras en el proceso.

Existen dos maneras de obtener información necesaria: una es la de observar o monitorear por medio de herramientas estadísticas planteadas y otra manera consiste en experimentar, la cual se refiere a cambios estratégicos en el proceso.

En consecuencia, en el diseño experimental se pueden manipular intencionalmente una o más variables independientes, para analizar el efecto o la variable dependiente (causa – consecuencia).

##### **2.2.14.1. Objetivo del diseño experimental.**

El diseño experimental busca "medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en la posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis

sometidas a prueba” (Rojas, 2013, p.272). Con el fin de optimizar y mejorar el rendimiento del proceso.

*“Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación”.* (Gutiérrez. P.H, 2008, p.5).

#### **2.2.14.2. Diseño factorial.**

El diseño factorial es un diseño de un experimento que estudia los efectos que varios factores pueden causar en una o varias respuestas y nos permite evaluar las interacciones que estas presenten sobre variable respuesta.

Los diseños factoriales generan experimentos más eficientes, ya que cada observación proporciona información sobre los factores y es factible ver las respuestas.

*El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, ya que se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Los factores pueden ser de tipo cualitativo (máquinas, tipos de material, operador, etc.) o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad, presión, etc.)*

*“Diseño experimental que sirve para estudiar el efecto individual y de interacción de varios factores sobre una o varias respuestas.”* (Gutiérrez. P.H, 2008, p.192).

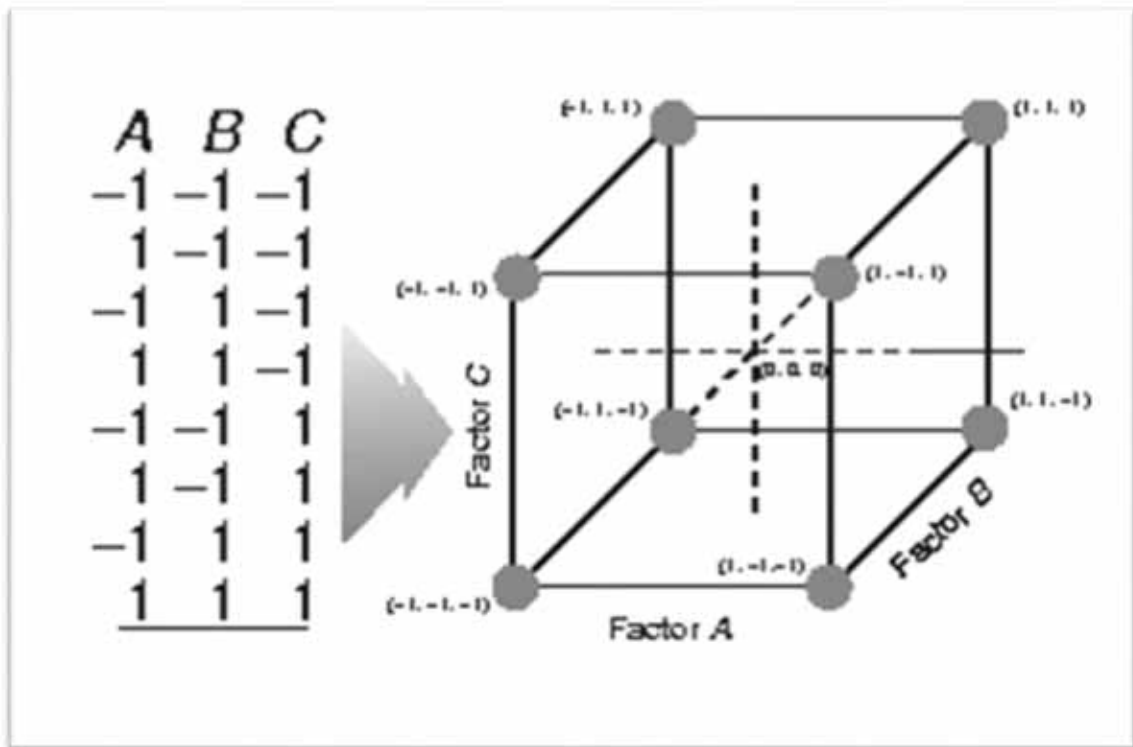
#### **2.2.14.3. Diseño factorial $2^K$ .**

Es el diseño factorial en el que se consideran k factores a estudiar con dos niveles cada uno y posee  $2^K$  tratamientos diferentes o puntos de diseño del experimento

Para tener en claro el número de tratamientos a realizar, viene dado por:

$$2^K = N = \text{número de tratamientos del experimento.}$$

En la figura 7, podemos observar la representación geométrica del diseño factorial  $2^3$  en el plano tridimensional.



**Figura 7.** Diseño factorial  $2^3$ , representación geométrica.

**Fuente;** Gutierrez.P.H. Análisis y Diseño de Experimentos, p 184.

**a. Efectos del experimento  $2^n$ .**

El cálculo de efectos nos sirve para determinar y cuantificar, si los factores afectan o influyen en la variable respuesta de un experimento y se calcula con la siguiente relación:

$$E_{Xi} = \frac{\Sigma Y_+ - \Sigma Y_-}{(N/2)r} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ij} Y_{Ij}}{(N/2)r} \quad (2.1)$$

**Dónde:**

$\Sigma Y_+$  : Sumatoria de respuestas correspondientes al nivel superior del factor de estudio.

$\Sigma Y_-$  : Sumatoria de respuestas correspondientes al nivel inferior del factor de estudio.

$N$  : Número de tratamientos.

$r$  : Número de réplicas;  $r = 1$  por tener replicas en el punto central.

**b. Análisis de varianza.**

Es una herramienta que se usa para poder probar la significancia de los efectos y analizar qué factores que conforman el grupo del experimento, son importantes como de mayor influencia en cuanto a la respuesta. Se calcula con la siguiente relación:

$$SS_{\text{total}} = SS_{\text{efectos}} + SS_{\text{curvatura}} + SS_{\text{error}} \quad (2.2)$$

**Dónde:**

$SS_{\text{total}}$  : Suma de cuadrados. Totales.

$SS_{\text{efectos}}$  : Suma de cuadrados debido a los efectos.

$SS_{\text{curvatura}}$  : Suma de cuadrados para la curvatura.

$SS_{\text{error}}$  : Suma de cuadrados debida al error.

- Suma de cuadrados debida a los efectos.

$$SS_{\text{error}} = \frac{(\sum_{i=1}^N X_{ij} Y_i)^2}{N r} \quad (2.3)$$

- Suma de cuadrados debida al error.

$$SS_{\text{error}} = \sum_{i=1}^n (Y_i^0 - \bar{Y}^0)^2 \quad (2.4)$$

Dónde:

$Y_i^0$  : Replicas en el punto central del diseño.

$\bar{Y}^0$  : Promedio de todas las réplicas.

$n$  : Número de réplicas en el centro del diseño.

- Suma de cuadrados para la curvatura.

$$SS_{\text{curvatura}} = \frac{Nn_0(\bar{Y} - \bar{Y}^0)^2}{N + n_0} \quad (2.5)$$

Dónde:

$\bar{Y}$  : Promedio de los puntos exteriores del diseño (respuestas).

$\bar{Y}^0$  : Promedio de todas las réplicas.

Para el cálculo del valor de  $F$  – ratio, se realiza por el teorema de Cochran con la siguiente relación matemática:

$$\frac{\frac{MS_{\text{efectos}}}{v_1}}{\frac{MS_{\text{error}}}{v_2}} \quad (2.6)$$

Donde:

$v_1$  = grados de libertad de los efectos e interacciones, generalmente es uno en los diseños factoriales a dos niveles.

$v_2 = (n^\circ - 1)$ , grados de libertad de la suma de cuadrados del error, para este caso igual a 1,  $v_2 = (n^\circ - 1) = 1$ .



## CAPITULO III

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

- Con el reactivo Sandioss se obtiene el 90% de extracción de Oro, en la lixiviación de minerales auríferos del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.

##### 3.1.2. Hipótesis específica

- La extracción de Oro es mayor conforme aumenta el tiempo de lixiviación con Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.
- El porcentaje de solidos optimo es de 30% para la extraer Oro en la lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.
- La concentración del reactivo sandioss es de 500 ppm, para una mayor extracción de Oro en la lixiviación de minerales del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.

#### 3.2. Variables

##### 3.2.1. Variables independientes.

- Concentración de sandioss.
- Tiempo de lixiviación.
- Porcentaje de solidos de la pulpa.

##### 3.2.2. Variable dependiente.

- Porcentaje de extracción de Oro.

### **3.2.3. Variables intervinientes.**

- Características del mineral.
- Oxidación.
- Presión atmosférica.
- Temperatura.

### **3.3. Indicadores**

- Presencia de Oro en la solución PLS según el reporte de análisis químico por absorción atómica en solución alcalina.
- Volumen del reactivo Sandioss sometido a la prueba metalúrgica.
- Contenido de Oro extraído en función del tiempo.
- Contenido de sólidos en pulpa.

### **3.4. Operacionalización de variables.**

En la tabla 5, se observa el cuadro de operacionalización de variables.

**Tabla 5. Operacionalización de variables.**

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Unidad	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Porcentaje de Extracción de Oro	Dependiente	Cantidad del metal (Oro), extraído a partir del mineral, en el proceso de lixiviación por agitación.	Cuantificar porcentualmente el Oro extraído mediante balances metalúrgicos, obtenidos en el proceso de lixiviación por agitación.	0 a 90	%	Presencia de Oro en la solución PLS según el reporte de análisis químico por absorción atómica en solución alcalina.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculos matemáticos en relación a la ley de cabeza en reporte químico.</li> <li>• Hoja de cálculo Excel.</li> </ul>
Concentración de Sandioss	Independiente	Cantidad de reactivo (en peso) que se encuentra disuelto en una cantidad dada de solución.	Determinar la cantidad de Sandioss que se encuentra disuelto en cierta cantidad de solución acuosa.	300 a 500	ppm	Volumen del reactivo Sandioss sometido a la prueba metalúrgica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumetría.</li> <li>• Bureta graduada, matraz de Erlenmeyer.</li> </ul>
Tiempo de lixiviación	Independiente	Tiempo de contacto de un líquido disolvente aplicado a minerales para extraer partes solubles, produciéndose la disolución de uno de los componentes del sólido.	Medición de periodo óptimo de residencia de la pulpa en el reactor de lixiviación por agitación, con el objetivo de disolver el oro del mineral.	30 a 48	horas	Contenido de Oro extraído en función del tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis químico por absorción atómica en solución alcalina.</li> <li>• Control de tiempo de extracción.</li> </ul>
Porcentaje de sólidos en pulpa	Independiente	Cantidad de sólidos y líquidos de tal forma que sus características y comportamiento se pueden estudiar, se refiere como un fluido homogéneo.	Determinar cantidad de mineral aurífero expresado en porcentaje en un volumen de agua para obtener la pulpa.	25 a 30	%	Contenido de sólidos en pulpa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculos matemáticos en relación a la densidad del mineral.</li> <li>• Hoja de cálculo Excel.</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia.

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1. **Ámbito de Estudio: Localización y Geográfica**

El Departamento del Cusco está constituido por trece provincias y 108 distritos. La Provincia de Chumbivilcas consta de 08 Distritos: Santo Tomás, Ccapacmarca, Colquemarca, Llusco, Quiñota, Velille, Chamaca y Livitaca con sus 79 comunidades campesinas, con reconocimiento legal en el Ministerio de Agricultura. (DIRSA, pag.10).

La Provincia de Chumbivilcas tiene una extensión territorial de 5371.08 km<sup>2</sup>, cuya topografía varía entre una altitud mínima de 2550 msnm. Y una máxima de 5438 y una altitud media de 3995 msnm. (DIRSA, pag.11).

Su territorio se caracteriza por una variada y accidentada topografía en la que predominan las altiplanicies, las pendientes pronunciadas y las superficies colinosas, que conforman fértiles valles interandinos. La zona alto andina compuesta por valles, quebradas, laderas y extensas llanuras, es el espacio donde se desarrollan en mayor medida las actividades sociales y económicas de la población. (DIRSA, pag.11). En la figura 8, se observa el mapa geográfico de la provincia y en la figura 8, la ubicación geográfica del yacimiento minero Chocrocoña.

#### **Límites:**

- Por el Norte: Provincia de Paruro y Acomayo (Cusco) y parte de la Provincia de Cotabambas (Apurímac).
- Por el Sur: Provincia de Castilla, Caylloma y Condesuyos (Arequipa) y Provincia de Espinar (Cusco).
- Por el Este: Provincia de Canas y Espinar (Cusco).
- Por el Oeste: Provincia de Cotabambas y Antabamba (Apurímac) y la Provincia de La Unión (Arequipa).



*Figura 8.* Ubicación geográfica de la provincia de Chumbivilcas

Fuente. INEI. 2010.

El yacimiento minero chocrocoña se encuentra asentado sobre la ladera noroeste del distrito de Llusco, entre las quebradas del río molino y Santo Tomas, a una altitud de 3100 m.s.n.m. la topografía es relativamente empinada con superficies suaves debido a la litología y el material coluvial producto de la erosión en las laderas, Como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Localización del yacimiento minero Chocrocoña.

Fuente. INEI. 2010.

## 4.2. Tipo y Nivel de Investigación

### 4.2.1. Tipo de investigación.

Para evaluar el porcentaje de extracción de Oro en la lixiviación con el reactivo Sandioss se realizó una investigación de tipo Experimental, el cual se basa en la manipulación de variables en condiciones controladas replicando un fenómeno concreto y observando el grado en que la o las variables implicadas y manipuladas que producen un efecto determinado.

(Causa) X  $\longrightarrow$  (efecto) Y

Permite establecer diferentes hipótesis y contrastarlas a través de un método científico. De esta manera estudiar e identificar las variables o factores de mayor influencia sobre el proceso

### 4.2.2. Nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de nivel descriptivo-explicativo por la siguiente razón:

- **Descriptivo:** porque busca o pretende especificar las propiedades y características más importantes de algún fenómeno o fenómenos sometido a análisis, mostrando con precisión las dimensiones de este.
- **Explicativo:** porque busca o pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que son análisis de estudio.

### **4.3. Unidad de Análisis**

La Unidad de análisis a evaluar es el reactivo Sandioss, el cual será aplicado en la lixiviación del mineral aurífero de tipo placer eluvial, extraído de un lote de mineral del yacimiento minero Chocrocoña.

El mineral aurífero este compuesto principalmente de cuarzo en mayor porcentaje y otras especies minerales como arena, grava y limo).

### **4.4. Población, Selección de Muestra y Tamaño de Muestra**

#### **4.4.1. Población.**

La población de estudio son las reservas de minerales auríferos tipo cuarzosos de los yacimientos mineros de la minera Chocrocoña, del distrito de Llusco provincia de Chumbivilcas, región Cusco, que está compuesto principalmente de cuarzo en mayor cantidad.

#### **4.4.2. Muestra.**

La muestra representativa para realizar el presente trabajo de investigación con el fin de análisis y evaluación experimental, es de 10 Kg, constituidas por 10 muestras de 1 Kg de mineral aurífero que proviene de los yacimientos antes mencionados.

#### **4.4.3. Selección de la muestra.**

La muestra objeto de estudio se seleccionará por la técnica de cono y cuarteo.

## **4.5 Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

### **4.5.1. Técnicas.**

- Pruebas a nivel de laboratorio.
- Información bibliográfica.
- Reportes de análisis químico, mineralógico.

### **4.5.2. Instrumentos.**

- Libros, revistas, artículos, etc.

## **4.6. Equipos, materiales y reactivos.**

### **4.6.1. Equipos.**

- Molino de bolas nivel de laboratorio (1000g Max)
- Chancadora cónica 6"
- ROTAP (CE Tyler)
- Cuarteador de rifles
- Microscopio
- Balanza analítica
- Balanza digital
- Cocina eléctrica
- Zaranda pequeña
- reactores de agitación
- pHmetro
- Elementos de protección personal (EPP)
- Calculadoras
- Cámaras fotográficas



#### 4.6.2. Materiales.

- Juego de tamices.
- Brochas.
- Espátulas
- Bolsas herméticas
- Saquillos.
- Papel filtro.
- Frascos para muestras de solución lixiviada.
- Materiales de laboratorio (matraz, vaso precipitado, pipetas, buretas, etc).
- Cinta aislante.
- Cinta masking.

#### 4.6.3. Reactivos.

- Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ).
- Yoduro de potasio (IK).
- Sandioss.
- Hidróxido de sodio o cal.
- Agua destilada.

### 4.7. Procesamiento y análisis de Datos

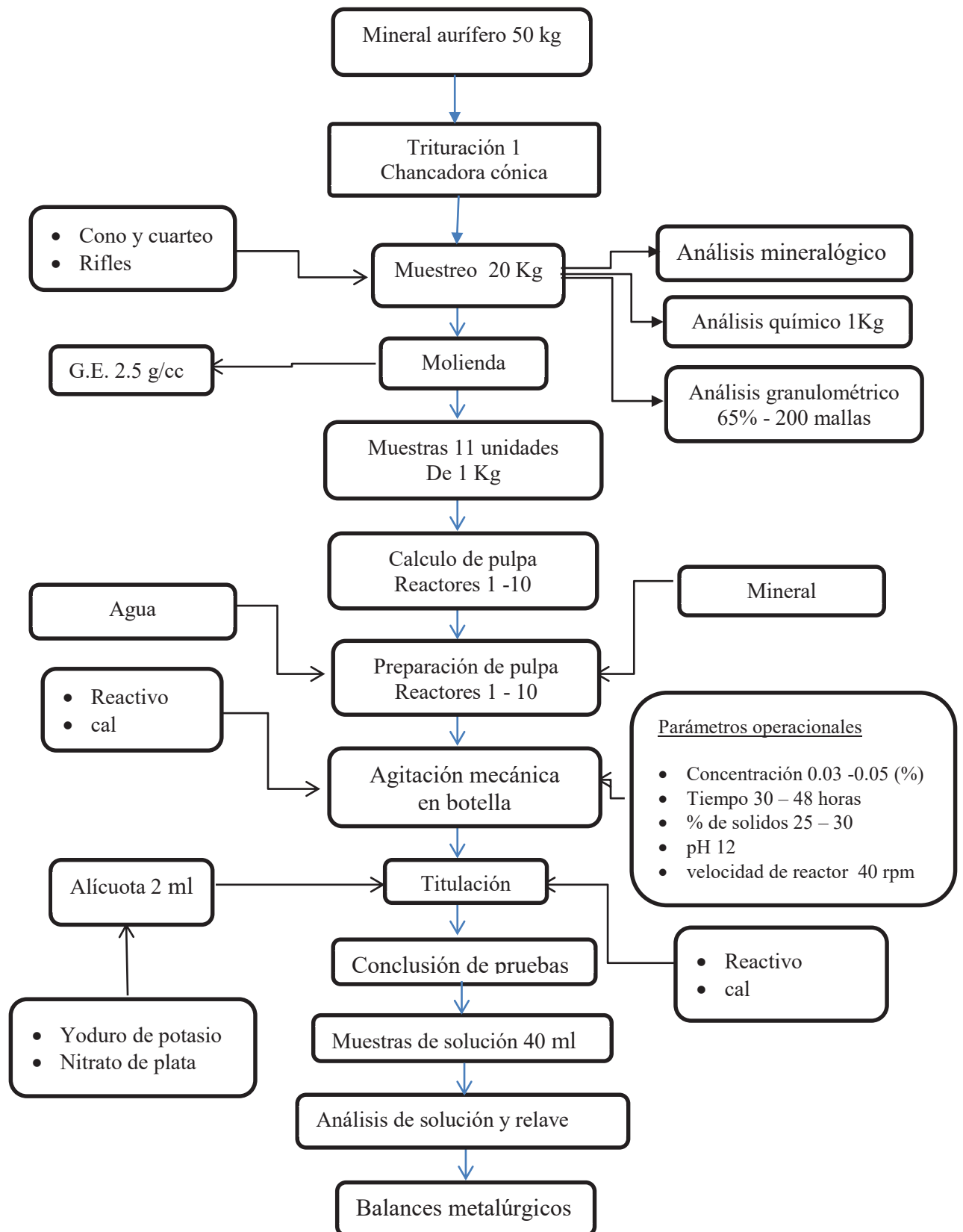
Las técnica que permitió el procesamiento y análisis de datos fue mediante modelos estadísticos, dentro del diseño experimental utilizando el modelo de diseño factorial  $2^k$ , en el cual el objetivo del experimento es averiguar si uno de los determinados factores influye o no en la variable de interés, y si existe influencia de alguno, este se debe identificar y cuantificar para que la eficiencia del proceso aumente. En nuestro caso, que tipo de variables tienen mayor influencia en la extracción óptima de Oro con el reactivo Sandioss.

Acompañado a la técnica estadística se utilizó el software estadístico Minitab 18, con el objetivo de corroborar los resultados del diseño experimental empleado y comprobar el grado de eficiencia del experimento con la interpretación de tablas y gráficos obtenidos

#### **4.8. Procedimiento experimental**

El proceso del experimento se llevó a cabo mediante una serie de etapas debidamente ordenadas, en el diagrama 3, se observa la estructura de inicio a fin del procedimiento.

**Diagrama 3.** Diagrama de flujo del procedimiento experimental.



Fuente: elaboración propia

#### **4.8.1. Preparación mecánica del mineral.**

Del mineral aurífero obtenido del yacimiento minero Chocrocoña, se tomó una cantidad aproximada de 50 kg, con granulometría máxima de 1 pulgada. Para la reducción de tamaño y la liberación de la mena se llevó a cabo mediante las siguientes etapas:

- La primera etapa del procedimiento fue la preparación mecánica del mineral con el objetivo de reducir el tamaño, se realizó en la chancadora cónica hasta alcanzar una granulometría 100% - 10 mallas.
- Homogenización del mineral y muestreo mediante el método de cono y cuarteo, también se usó un cuarteador de rifles. Obteniendo una muestra representativa de 20 kg para la etapa posterior y 1kg para análisis químico con el fin de obtener la ley de cabeza del mineral importante para contrastar los resultados.
- Se realizó una molienda preliminar para obtener el tiempo necesario para alcanzar la granulometría deseada, aproximadamente 65% - 200 mallas para la lixiviación por agitación en botella, obteniendo un tiempo de 20 minutos.
- De la misma manera se realizó la molienda del mineral en un molino de bolas (nivel de laboratorio), hasta llegar a una granulometría de 65% - 200 mallas (74 micrones). Se molió un total de 11 Kg, 11 pruebas de 1 Kg cada uno.
- Finalmente se homogenizo el mineral molido y obtuvimos 10 muestras representativas de 1kg cada una, para el proceso hidrometalúrgico.

#### **4.8.2. Tiempo de molienda.**

Es el tiempo de residencia del mineral aurífero dentro del molino, con el objetivo de obtener una granulometría optima deseado que permita alcanzar el mayor grado de liberación para el proceso de lixiviación por agitación.

En la tabla 6, se observa que al aumentar el tiempo de molienda el mineral alcanza mayores valores de mineral pasante en la malla 200 (74 micrones), obteniendo así la granulometría requerida (65 %) a un tiempo de moliendo de 20 minutos.

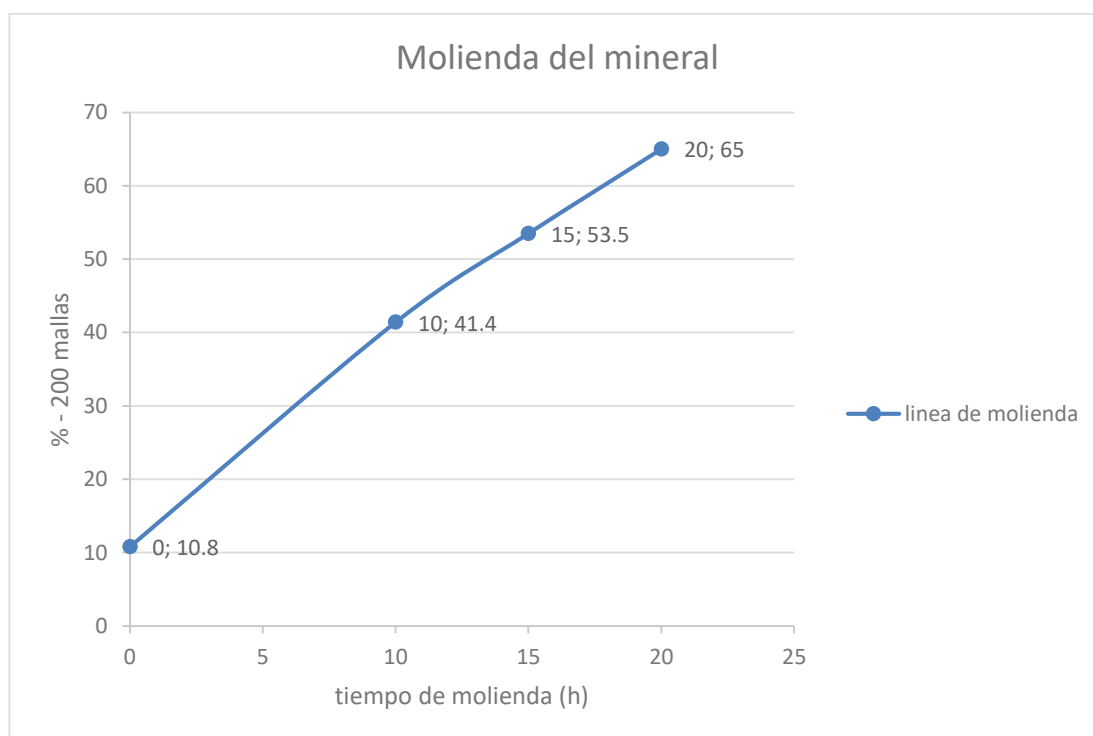
**Tabla 6.**

*Determinación del Tiempo de molienda.*

Tiempo de Mol. (X) min	% - 200 M (Y)
0	10.8
10	41.4
15	53.5
20	65.0

**Fuente:** Elaboración propia.

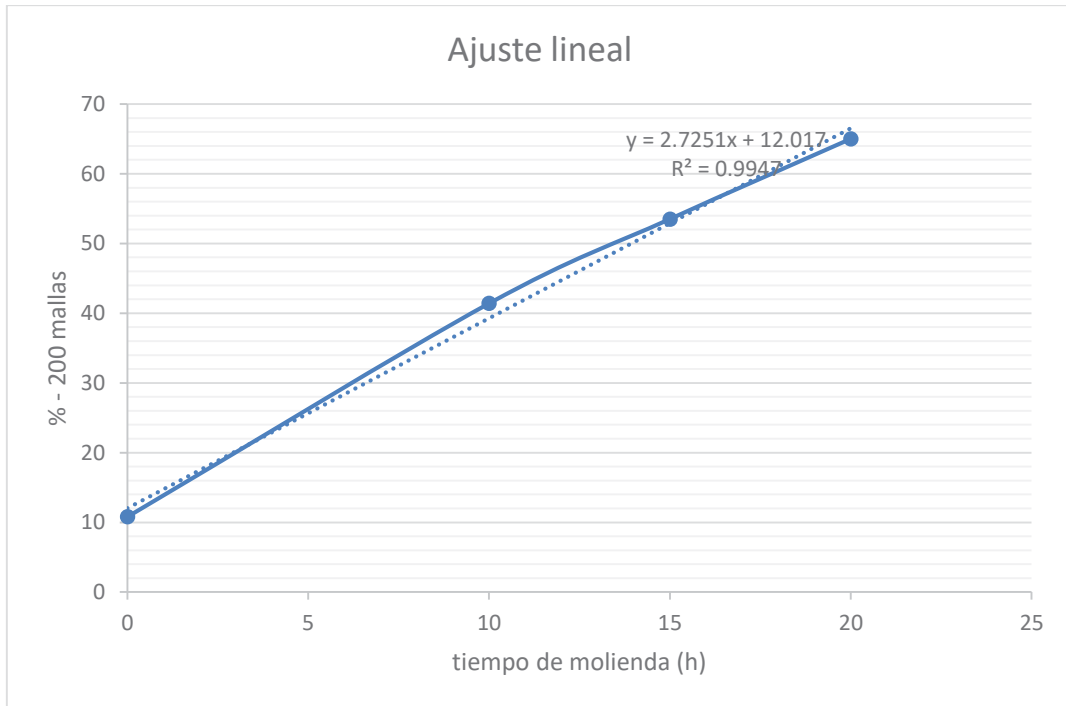
La figura 10, se observa la representación gráfica del tiempo de molienda versus el porcentaje de mineral pasante en la malla 200, se puede apreciar un cambio de la pendiente a partir de cada punto, mientras el tiempo aumenta la pendiente de la gráfica disminuye.



**Figura 10.** Grafica tiempo de molienda VS % - 200 mallas.

**Fuente:** Microsoft Excel.

Para obtener el tiempo de molienda estimado para porcentajes mayores a 65% de mineral pasante, se realizó el ajuste lineal de la gráfica anterior para obtener la ecuación matemática lineal de la forma  $Y = mx + b$ , como se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Ajuste lineal de la gráfica de molienda.

**Fuente:** Microsoft Excel.

Pendiente	2.7251
Error	0.1410
Erre cuadrado	0.9946
Valor de b	12.017

Asemejando la ecuación lineal y el valor obtenido en el ajuste lineal tenemos:

$$Y = mx + b$$

$$Y = 2.7251x + 12.017$$

Si queremos llegar a porcentajes mayores de mineral pasante como por ejemplo de 80% - 200 mallas, se realizara empleando la siguiente ecuación:

$$80 = 2.7251x + 12.017$$

$$X = 24.90$$

Esto quiere decir que para una molienda de 80% - 200 mallas se requiere moler el mineral un tiempo de 24.90 minutos.

#### 4.8.3. Condiciones operativas para la lixiviación.

Antes de realizar el proceso de lixiviación por agitación con el reactivo de prueba (Sandioss), debemos tener en cuenta las condiciones de operación y sus parámetros, en la tabla 7, se observa estas condiciones iniciales.

Tenemos que tener en cuenta que los resultados obtenidos dependen mucho de los parámetros otorgados para el experimento.

**Tabla 7**

*Condiciones operacionales para el proceso.*

<b>Condiciones de operación</b>
• Granulometría: 65% - 200 Mallas
• pH:12
• Velocidad de agitación: 40 rpm
• % de solidos: 25-30
• Tiempo de agitación (horas) : 30 - 48
• Concentración del reactivo (ppm): 300 -500
• Tmperatura: 23°C

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.8.4. Calculo de peso de mineral y volumen de agua en pulpa.

Para obtener los resultados de cantidad mineral y volumen de agua para la pulpa en cada reactor de lixiviación (1- 10), se realizó mediante el balance de pulpa como se observa en la tabla 8.

las siguientes condiciones para la prueba 1 son:

Vol. Reactor : 1250 ml

Vol. Reactor 80% : 1000 ml

G.E	: 2.5 g/cc
% de solidos	: 25 %
Tiempo	: 30 horas
Concentración	: 300 ppm

**Tabla 8.**

*Balace de pulpa de la prueba 1.*

	100 pulpa		1000 pulpa	
	g	mL	g	mL
Mineral	25	10	294.12	117.65
Agua	75	75	882.35	882.35
Pulpa	100	85	1176.47	1000.00

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 8, se muestra los cálculos a partir de las condiciones. Por ejemplo, para 1000 ml de pulpa en el reactor 1, se necesitó 294.12 g de mineral y 882.35 ml de agua. Para el caso de las pruebas restantes el procedimiento de cálculo se realiza de la misma manera y las tablas se ubican en el apéndice.

**Tabla 9.**

*Condiciones operativas de todas las pruebas (mineral y agua).*

Muestra	Peso de mineral (g)	Volumen de agua (ml)
P-1	294.12	882.35
P-2	368.78	860.49
P-3	280.00	840.00
P-4	294.12	882.35
P-5	395.12	921.95
P-6	296.47	889.41
P-7	348.29	812.68
P-8	395.12	921.95
P-9	326.71	861.32
P-10	374.86	988.23

**Fuente:** Elaboración propia.



En la tabla 9, se muestra los valores de mineral y agua obtenidas a partir de cada tabla, Estos valores de material serán alimentados cada reactor para la lixiviación.

#### 4.8.5. Proceso de lixiviación del mineral.

Para alimentar los elementos a los reactores lixiviantes se le asigna a cada prueba variables de operación como:

- Concentración del reactivo (ppm)
- Tiempo de lixiviación (h)
- Porcentaje de solidos (%)

En la tabla 10, se observa el número de pruebas y sus respectivas variables asignadas.

**Tabla 10.**

*Variables de operación para los pruebas del 1 al 10.*

Experimentos	Concentración (ppm)	Tiempo (H)	% de solidos
P-1	300	30	25
P-3	500	30	25
P-4	300	48	25
P-6	500	48	25
P-2	300	30	30
P-5	500	30	30
P-7	300	48	30
P-8	500	48	30
P-9	400	39	29.5
P-10	400	39	29.5

**Fuente:** Elaboración propia.

Se detalla los pasos para el proceso experimental de la lixiviación con sandioss.

- En un vaso de precipitado se agregó 100 ml de agua destilada y 50 g de mineral con 2.5 g/L de peso específico, agitando el reactor por un tiempo de 5 minutos para obtener el pH de la pulpa, utilizando el instrumento (pHmetro) nos dio una lectura de 7.3 de pH. Se agregó progresivamente Cal, hasta llegar a un pH estándar de 12 con 0.26 g de cal.

- Se agregó a los reactores de agitación debidamente rotulados y codificados los siguientes compuestos, agua, mineral, reactivo y cal, de acuerdo a los parámetros de operación iniciales (antes mencionados) que requería cada reactor, como se muestra en la tabla 11.
- Para tener una cantidad exacta de cada componente en el reactor nos basamos en las siguientes relaciones matemáticas.

**a. calculo de pH estándar (12) de la pulpa.**

0.26 g de cal	.....	50 g de mineral
X cal (g)	.....	Peso de mineral en el reactor (g)

$$cal\ inicial\ (g) = \frac{\text{peso de mineral} \times 0.26}{50} \quad (4.1)$$

Para obtener los resultados de la prueba 1. Tendremos:

$$cal\ inicial\ (g) = \frac{294.12 \times 0.26}{50}$$

$$cal\ inicial\ (g) = 1.53\ g$$

Para el caso de las nueve pruebas siguientes el procedimiento es el mismo. Estos valores podemos observarlo en la tabla 11.

**b. Calculo del reactivo.**

Para el cálculo de reactivo lixivante antes del proceso y para el gasto del mismo respecto a la titulación posterior se realiza con el conjunto de relaciones matemáticas

(4.2)

$$C1 = \frac{V2 * C2}{V1}$$

$$\% \text{ de reactivo} = C1 * 10^{-2} * f$$

$G =$  Concen. Reactivo - % de reactivo

$$x = \frac{G * V \text{ de agua}}{100}$$

$$x = \frac{X}{P}$$

Dónde:

$C1$ : concentración del problema.

$C2$ : concentración del titulante (25).

$V1$ : volumen de la alícuota (2 ml).

$V2$ : volumen de titulante gastado.

$f$ : factor. (0.98).

$G$ : gasto de reactivo.

$P$ : pureza del reactivo.

- pasado un tiempo estimado de lixiviación se detuvo el equipo donde se tomó muestras de solución lixiviada de cada reactor, se realizó la titulación correspondiente a cada prueba y de acuerdo a cálculos realizados se adiciono el gasto de reactivo lixivante (sandioss) y cal o hidróxido de sodio (NaOH), para que el proceso siga en marcha.
- El control de la solución lixiviada se tomó a la  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 5, y cada 5 horas de haber empezado el proceso de lixiviación, con la adición de reactivos según amerite la solución

- Cada reactor es colocado en un lugar uniforme esperando un tiempo para que precipiten los sólidos. Luego se extrajo la solución enriquecida en un recipiente hermético y enviado para su respectivo análisis químico.

Finalmente, los relaves fueron extraídos y lavados tres veces para eliminar restos de lixivante, posteriormente se secó y fueron enviados para el análisis químico correspondiente y la realización del balance metalúrgico.

**Tabla 11.**

*Componentes adicionados inicialmente en el reactor.*

Muestra	Peso de mineral (g)	Volumen de agua (ml)	Cal (g)	Sandioss (g)
P-1	294.12	882.35	1.53	0.42
P-2	368.78	860.49	1.92	0.41
P-3	280.00	840.00	1.47	0.67
P-4	294.12	882.35	1.53	0.42
P-5	395.12	921.95	2.05	0.74
P-6	296.47	889.41	1.54	0.71
P-7	348.29	812.68	1.81	0.39
P-8	395.12	921.95	2.05	0.73
P-9	326.71	861.32	1.7	0.55
P-10	374.86	988.23	1.95	0.63

Fuente: elaboración propia.

#### 4.8.6. Análisis de titulación volumétrica en el control de muestras.

El procedimiento para el control de la solución lixiviada se realiza mediante la titulación volumétrica de la siguiente manera:

- Cada muestra fue extraída a la 1/2, 1, 2, 5, y cada 5 horas respectivamente, hasta llegar a los tiempos de lixiviación establecidos.
- Tomamos una alícuota de 8 ml de solución lixiviada, se procedió a medir el pH.
- Se filtró solución lixiviada para obtener una solución clara y limpia.
- se tomó una alícuota de 2 ml de la solución lixiviada filtrada.

- Se introduce 2 gotas de yoduro de potasio (KI), agitando lentamente.
- Con la solución de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), se titula la alícuota (2 ml), hasta que pueda cambiar de color amarillo opalescente.
- El volumen de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), gastado en la bureta es registrada, para determinar el consumo de reactivo, método que se realizara con los cálculos para la adición o no de la misma.

Al término de estos pasos, se procederá a realizar los cálculos matemáticos de acuerdo a los datos registrados para adicionar el reactivo lixivante (sandioss), y el hidróxido de sodio (NaOH) o cal, en los reactores de lixiviación.

#### **4.8.7. Reactivos para la titulación del proceso.**

- **Yoduro de potasio (KI).** Para lograr una solución al 5% se diluye 5 g de yoduro de potasio en 100 ml de agua destilada, agitándolo por un periodo de 10 segundos hasta que los grados se disuelvan.
- **Nitrato de plata. ( $\text{AgNO}_3$ ).** Se diluye 4.33g de nitrato de plata en 1000 ml de agua destilada, agitar lentamente por un periodo de 10 segundos hasta que la mezcla haya consumado por completo.

#### **4.8.8. Variables del proceso.**

En la tabla 12, se muestra las tres variables del proceso desde un nivel bajo a un nivel alto. En base a esta tabla se realizará la matriz de factores.

**Tabla 12.***Variables del proceso en niveles.*

variables	Niveles	
	(bajo)	(alto)
Concentración (%)	0.03	0.05
tiempo de lixiviación (h)	30	48
% de solidos (%)	25	30

**Fuente.** Elaboración propia.

## CAPITULO V

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 5.1. Resultados de extracción de Oro según análisis químico

En la tabla 13, se observa los resultados de extracción de Oro según el reporte de análisis químico de cada solución lixiviada (pruebas 1 – 10), donde la extracción en (mg/L) más alta se registra en la muestra 8 y la mas baja en la muestra 3. Con esta información se podrá realizar el balance metalúrgico con la finalidad de obtener los resultados de extracción de Oro en porcentaje.

**Tabla 13.**

*Reporte de Disolución de Oro en la solución.*

Muestras	Mineral W. (g)	Agua V. (mL)	Au. extraído mg/L
P-1	294.120	882.360	<b>4.380</b>
P-2	368.780	860.480	<b>5.920</b>
P-3	280.000	840.000	<b>4.310</b>
P-4	294.120	882.360	<b>5.260</b>
P-5	395.120	921.950	<b>6.110</b>
P-6	296.470	889.410	<b>6.190</b>
P-7	348.290	812.680	<b>7.070</b>
P-8	395.120	921.950	<b>7.160</b>
P-9	326.710	861.320	<b>6.020</b>
P-10	374.860	988.230	<b>6.060</b>

**Fuente:** Laboratorios analíticos del Sur.

#### 5.2. Resultados de la extracción de Oro según balance metalúrgico

Para obtener los resultados de la extracción de Oro en porcentaje, tenemos que realizar el balance metalúrgicos mediante los resultados obtenidos en el reporte de análisis químico de las

soluciones, rípios y la ley de cabeza del mineral tomada al inicio de la investigación el cual fue de 17.38 g/TM.

### 5.2.1. Resultados de la muestra 1.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 294.12 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.112 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 882.36 \text{ mL} * 4.38 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.865 \text{ mg}$$

$$\text{Rípios} = 294.12 \text{ g} * 4.93 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.450 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 3.865 \text{ mg} + 1.450 \text{ mg} = 5.315 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{3.865 \text{ mg}}{5.315 \text{ mg}} * 100 = 72.717 \%$$

**Tabla 14.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada muestra 1.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	294.120	17.38	5.112
Solución	882.360	4.38 (mg/L)	3.865
Rípios	294.120	4.93	1.450
Cabeza. Calculada	294.120	18.07	5.315
Extracción (%)	72.717		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 14, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 1, obteniendo un porcentaje de extracción del **72.717 %** de Oro.



### 5.2.2. Resultados de la muestra 2.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 368.78 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.409 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 860.48 \text{ mL} * 5.92 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 5.094 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 3.68.78 \text{ g} * 4.31 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.589 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 5.094 \text{ mg} + 1.589 \text{ mg} = 6.683 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{5.094 \text{ mg}}{6.683 \text{ mg}} * 100 = 76.218 \%$$

**Tabla 15.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 2.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	368.78	17.38	6.409
Solución	860.48	5.92 (mg/L)	5.094
Ripios	368.78	4.31	1.589
Cabeza. Calculada	368.78	18.04	6.683
Extracción (%)	76.218		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 15, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 2, obteniendo un porcentaje de extracción del **76.218 %** de Oro.

### 5.2.3. Resultados de la muestra 3.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 280.0 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.866 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 840.0 \text{ mL} * 4.31 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.620 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 280.0 \text{ g} * 5.11 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.431 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 3.620 \text{ mg} + 1.431 \text{ mg} = 5.051 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{3.620 \text{ mg}}{5.051 \text{ mg}} * 100 = 71.674 \%$$

**Tabla 16.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 3.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	280.0	17.38	4.866
Solución	840.0	4.31 (mg/L)	3.620
Ripios	280.0	5.11	1.431
Cabeza. Calculada	280.0	18.04	5.051
Extracción (%)	71.674		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 16, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 3, obteniendo un porcentaje de extracción del **71.674 %** de Oro.

#### 5.2.4. Resultados de la muestra 4.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 294.12 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.112 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 882.36 \text{ mL} * 5.26 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 4.641 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 294.12 \text{ g} * 2.19 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.644 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.641 \text{ mg} + 0.644 \text{ mg} = 5.285 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{4.641 \text{ mg}}{5.285 \text{ mg}} * 100 = 87.813 \%$$

**Tabla 17.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 4.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	294.120	17.38	5.112
Solución	882.360	5.26 (mg/L)	4.641
Ripios	294.120	2.19	0.644
Cabeza. Calculada	294.120	17.97	5.285
Extracción (%)	87.813		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 17, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 4, obteniendo un porcentaje de extracción del **87.813 %** de Oro.

### 5.2.5. Resultados de la muestra 5.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 395.12 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.867 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 921.95 \text{ mL} * 6.11 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 5.633 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 395.12 \text{ g} * 3.73 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.474 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.641 \text{ mg} + 1.474 \text{ mg} = 7.107 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{5.633 \text{ mg}}{7.107 \text{ mg}} * 100 = 79.262 \%$$

En la tabla 18, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 5, obteniendo un porcentaje de extracción del **79.262 %** de Oro.

**Tabla 18.***Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 5.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	395.12	17.38	6.867
Solución	921.95	6.11 (mg/L)	5.633
Ripios	395.12	3.73	1.474
Cabeza. Calculada	395.12	17.99	7.107
Extracción (%)	79.262		

**Fuente:** Elaboración propia.**5.2.6. Resultados de la muestra 6.**

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 296.47 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.153 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 889.41 \text{ mL} * 5.19 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 4.616 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 296.47 \text{ g} * 2.51 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.744 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.616 \text{ mg} + 0.744 \text{ mg} = 5.360 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{4.616 \text{ mg}}{5.360 \text{ mg}} * 100 = 86.117 \%$$

**Tabla 19.***Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 6.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	296.47	17.38	5.153
Solución	889.41	5.19 (mg/L)	4.616
Ripios	296.47	2.51	0.744
Cabeza. Calculada	296.47	18.08	5.360
Extracción (%)	86.117		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 19, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 6, obteniendo un porcentaje de extracción del **86.117 %** de Oro.

### 5.2.7. Resultados de la muestra 7.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 348.29 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.053 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 812.68 \text{ mL} * 7.07 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 5.746 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 348.29 \text{ g} * 1.61 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.561 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 5.746 \text{ mg} + 0.561 \text{ mg} = 6.306 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{5.746 \text{ mg}}{6.306 \text{ mg}} * 100 = 91.108\%$$

**Tabla 20.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 7.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	348.29	17.38	6.053
Solución	812.68	7.07 (mg/L)	5.746
Ripios	348.29	1.61	0.561
Cabeza. Calculada	348.29	18.11	6.306
Extracción (%)	91.108		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 20, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 7, obteniendo un porcentaje de extracción del **91.108 %** de Oro.

### 5.2.8. Resultados de la muestra 8.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 395.12 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.867 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 921.95 \text{ mL} * 7.16 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 6.601 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 395.12 \text{ g} * 1.40 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.553 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 6.601 \text{ mg} + 0.553 \text{ mg} = 7.154 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{6.601 \text{ mg}}{7.154 \text{ mg}} * 100 = 92.268 \%$$

**Tabla 21.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 8.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	395.12	17.38	6.867
Solución	921.95	716 (mg/L)	6.601
Ripios	395.12	1.40	0.553
Cabeza. Calculada	395.12	18.11	7.154
Extracción (%)	92.268		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 21, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 8, obteniendo un porcentaje de extracción del **92.268 %** de Oro.

### 5.2.9. Resultados de la muestra 9.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 326.71 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.678 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 861.32 \text{ mL} * 6.02 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 5.185 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 326.71 \text{ g} * 2.14 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.699 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 5.185 \text{ mg} + 0.699 \text{ mg} = 5.884 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{5.185 \text{ mg}}{5.884 \text{ mg}} * 100 = 88.118 \%$$

**Tabla 22.**

*Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 9.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	326.71	17.38	5.678
Solución	861.32	6.02 (mg/L)	5.185
Ripios	326.71	2.14	0.699
Cabeza. Calculada	326.71	18.01	5.884
Extracción (%)	88.118		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 22, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 9, obteniendo un porcentaje de extracción del **88.118%** de Oro.

### 5.2.10. Resultados de la muestra 10.

- **Contenido metálico:**

$$\text{Cabeza} = 374.86 \text{ g} * 17.38 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.515 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 988.23 \text{ mL} * 6.06 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 5.989 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 374.86 \text{ g} * 2.11 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.791 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 5.989 \text{ mg} + 0.791 \text{ mg} = 6.780 \text{ mg}$$

- **Extracción de Oro (%):**

$$\text{Porcentaje} = \frac{5.989 \text{ mg}}{6.780 \text{ mg}} * 100 = 88.333 \%$$

**Tabla 23.***Balance metalúrgico de cabeza calculada prueba 10.*

	Peso (g)	Au (g/TM)	Con. Metálico (mg)
Cabeza	374.86	17.38	6.515
Solución	988.23	6.06 (mg/L)	5.989
Ripios Cabeza.	374.86	2.11	0.791
Calculada	374.86	18.09	6.780
Extracción (%)	88.333		

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 23, se muestra el balance metalúrgico de cabeza calculada de la muestra 10, obteniendo un porcentaje de extracción del **88.333** % de Oro.

En la tabla 24, se muestra la extracción de Oro a partir de la solución en (mg/L) y en porcentaje a partir del balance metalúrgico de cada muestra.

**Tabla 24.***Porcentaje de extracción calculada.*

Muestras	Mineral	Agua	Au. extraído	
	W. (g)	V. (mL)	mg/L	%
P-1	294.120	882.360	4.380	<b>72.717</b>
P-2	368.780	860.480	5.920	<b>76.218</b>
P-3	280.000	840.000	4.310	<b>71.674</b>
P-4	294.120	882.360	5.260	<b>87.813</b>
P-5	395.120	921.950	6.110	<b>79.262</b>
P-6	296.470	889.410	5.190	<b>86.117</b>
P-7	348.290	812.680	7.070	<b>91.108</b>
P-8	395.120	921.950	7.160	<b>92.268</b>
P-9	326.710	861.320	6.020	<b>88.118</b>
P-10	374.860	988.230	6.060	<b>88.333</b>

**Fuente:** elaboración propia.



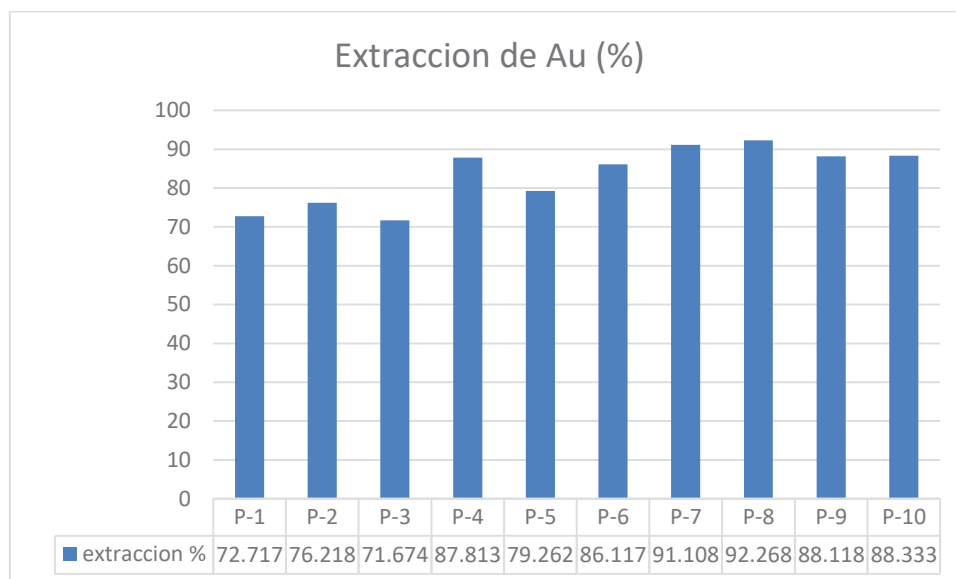


Figura 12. Grafico de barras de la extracción de Au (%).

Fuente: Microsoft Excel.

En la figura 12, se observa el grafico de barras agrupadas para comparar valores de extracción de Oro en porcentaje, esta figura muestra que en dos pruebas se obtuvo más del 90 % de extracción.

### 5.3. Cinética de lixiviación.

En la tabla 25, se observa la extracción de Oro en (mg/L) según el informe de ensayo y el porcentaje de Oro extraído en tiempos de 10, 24, 36, y 48 horas, tomando como modelo la prueba 8.

Tabla 25.

Extracción de Oro de la prueba 8 de 0 a 48 horas.

Tiempo (h)	extracción de Au	
	mg/L	%
0	0	<b>0.000</b>
10	1.81	<b>23.381</b>
24	5.81	<b>74.954</b>
36	6.62	<b>85.100</b>
48	7.16	<b>92.268</b>

Fuente: elaboración propia.

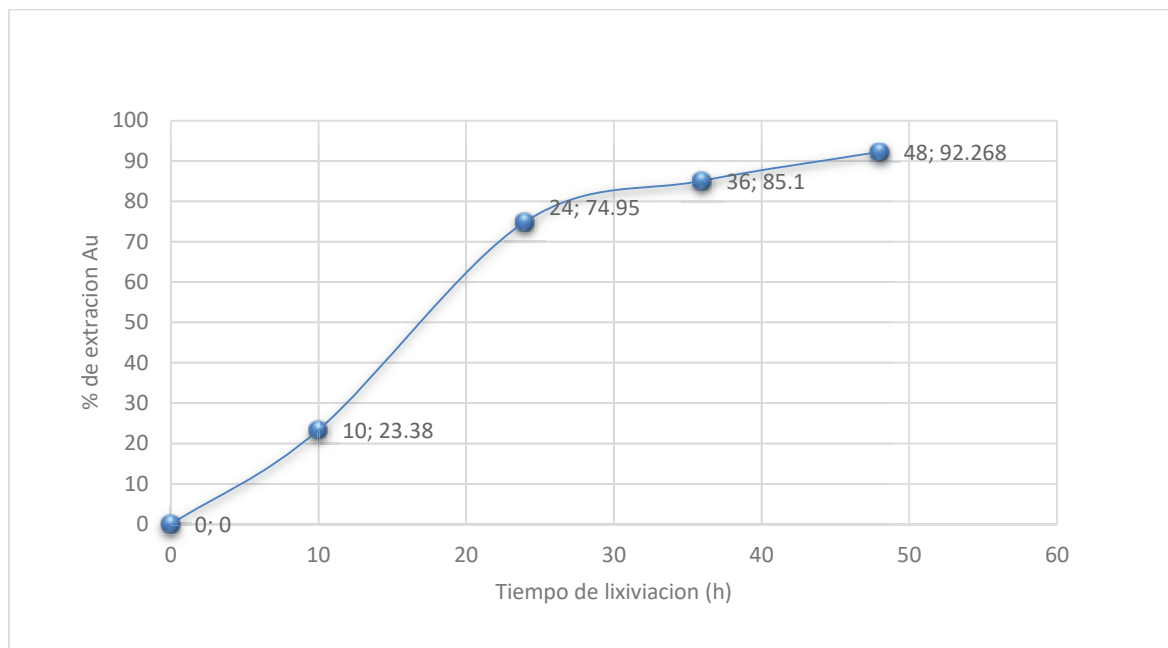


Figura 13. Grafica de dispersión % de extracción de Au Vs Tiempo de lixiviación.

**Fuente:** Microsoft Excel.

En la figura 13, se observa la curva de lixiviación del porcentaje de extracción de Oro según tiempos determinados, la línea es constante con una pendiente pronunciada hasta las 24 horas luego cambia notoriamente, esto quiere decir que a partir de este punto la extracción de Oro es menor.

#### 5.4. diseño experimental mediante análisis factorial.

##### 5.4.1. Diseño factorial $2^k$ .

$k$  = factores o variables del experimento (concentración de reactivo, tiempo de lixiviación y porcentaje de sólidos en pulpa).

$2$  = niveles cada uno, un mínimo y un máximo.

$2^k = 2^3 = 8$  tratamientos.

El diseño factorial se realizó con  $2^3$  tratamientos más dos (2) replica en el punto central, haciendo un total de diez (10) tratamientos del experimento.

Las réplicas en el punto central nos servirán para mejorar la precisión y la confiabilidad de los resultados.

### 5.4.2. construcción de la matriz de diseño.

La matriz de diseño es la relación que define el valor que deben tomar los factores en cada uno de los experimentos a realizar.

**Tabla 26.**

*Factores y niveles codificados*

Factores (variables)	Niveles (dominio experimental)	
	(bajo) -1	(alto) +1
Concentración (ppm)	300	500
tiempo de lixiviación (h)	30	48
% de solidos (%)	25	30

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 26, se refleja los factores y los niveles con su codificación.

**Tabla 27.**

*Matriz de diseño factorial 2<sup>3</sup>.*

Experimento	Nº de prueba	Concentración (ppm)	Tiempo (H)	% de solidos	Extracción %
m-1	1	300	30	25	<b>72.717</b>
m-3	2	500	30	25	<b>71.674</b>
m-4	3	300	48	25	<b>87.813</b>
m-6	4	500	48	25	<b>86.117</b>
m-2	5	300	30	30	<b>76.218</b>
m-5	6	500	30	30	<b>79.262</b>
m-7	7	300	48	30	<b>91.108</b>
m-8	8	500	48	30	<b>92.268</b>
m-9	9	400	39	27.5	<b>88.118</b>
m-10	10	400	39	27.5	<b>88.333</b>

**Fuente:** elaboración propia.

La tabla 27, refleja la relación de condiciones experimentales para realizar el diseño 2<sup>3</sup>, nótese que no hay ninguna condición repetida ni tampoco falta una posible combinación.

**Tabla 28.**

*Matriz de experimentos del diseño factorial, plan de experimentación y respuestas del experimento.*

N° de prueba	Matriz de experimentos			Plan de experimentación			Respuesta
	X1	X2	X3	Concen. (%)	Tiempo (H)	% de solidos	Y
1	-1	-1	-1	0.03	30	25	<b>72.717</b>
2	+1	-1	-1	0.05	30	25	<b>71.674</b>
3	-1	+1	-1	0.03	48	25	<b>87.813</b>
4	+1	+1	-1	0.05	48	25	<b>86.117</b>
5	-1	-1	+1	0.03	30	30	<b>76.218</b>
6	+1	-1	+1	0.05	30	30	<b>79.262</b>
7	-1	+1	+1	0.03	48	30	<b>91.108</b>
8	+1	+1	+1	0.05	48	30	<b>92.268</b>

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 29.**

*Matriz de variables independientes.*

N	Promedio (X <sub>0</sub> )	concent.(C) (X <sub>1</sub> )	tiempo (t) (X <sub>2</sub> )	% de solidos (s) (X <sub>3</sub> )	Ct (X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> )	Cs (X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> )	Ts (X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> )	Cts (X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> )
1	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

**Fuente:** elaboración propia.

Para la obtención de los valores de los efectos de las variables independientes, haremos uso de la ecuación (2.1) los resultados se plasman en la tabla 30.

**Tabla 30.***Calculo de efectos.*

Respuesta					Efecto
y1	<b>72.717</b>	Promedio	b0	$(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8)/8$	<b>82.147</b>
y2	<b>71.674</b>	Concentración (C)	bC	$(-y1+y2-y3+y4-y5+y6-y7+y8)/4$	<b>0.37</b>
y3	<b>87.813</b>	Tiempo (t)	bt	$(-y1-y2+y3+y4-y5-y6+y7+y8)/4$	<b>14.36</b>
y4	<b>86.117</b>	% de solidos (s)	bs	$(-y1-y2-y3-y4+y5+y6+y7+y8)/4$	<b>5.13</b>
y5	<b>76.218</b>	Ct	bCt	$(y1-y2-y3+y4+y5-y6-y7+y8)/4$	<b>-0.63</b>
y6	<b>79.262</b>	Cs	bCs	$(y1-y2+y3-y4-y5+y6-y7+y8)/4$	<b>1.74</b>
y7	<b>91.108</b>	ts	bts	$(y1+y2-y3-y4-y5-y6+y7+y8)/4$	<b>-0.41</b>
y8	<b>92.268</b>	Cts	bCts	$(-y1+y2+y3-y4+y5-y6-y7+y8)/4$	<b>-0.31</b>

**Fuente:** elaboración propia.

A continuación, se realiza el cálculo de suma de cuadrados de los efectos con la ecuación (2.3)

de la siguiente manera:

$$SS \text{ efectos} = \frac{(\sum_{i=1}^N X_{ij} y_i)^2}{N r}$$

Los resultados se representan en la tabla 31.

**Tabla 31.***Suma de cuadrados de los efectos.*

fuelle de variación	SSefectos
SSx1	0.27
SSx2	412.34
SSx3	52.71
SSx1x2	0.80
SSx1x3	6.03
SSx2x3	0.34
SSx1x2x3	0.19

**Fuente:** elaboración propia**Suma de cuadrados del error**

Calculando el promedio de las replicas en el punto central:

$$(88.118 + 88.333) / 2 = \mathbf{88.225}$$

$$SS_{\text{error}} = (88.118 - \mathbf{88.225})^2 + (88.333 - \mathbf{88.225})^2 = \mathbf{0.023}$$

### Suma de cuadrados de la curvatura

Para hallar el resultado de la suma de cuadrados debida a la curvatura se calcula con la ecuación (2.5) de la siguiente manera:

$$\frac{2 * 8 (82.147 - 8.225)^2}{8 + 2} = \mathbf{59.107}$$

A través del cálculo de los efectos se observa que las variables que tienen mayor incidencia en el proceso son el tiempo de lixiviación, porcentaje de sólidos y con muy poca incidencia la interacción de la concentración con el porcentaje de sólidos. La manera precisa y estadística de medir la importancia de esos factores se realiza mediante la ecuación (2.6).

$$\frac{\frac{MSe_{\text{efectos}}}{v_1}}{\frac{MS_{\text{error}}}{v_2}}$$

Se realiza la tabla ANOVA mediante el diseño factorial con el fin de analizar la significancia de los factores en el experimento, como se muestra en la tabla 32.

**Tabla 32.**

*Análisis de varianza.*

<b>F. V</b>	<b>S.C</b>	<b>G. L</b>	<b>M. de cuadrados</b>	<b>°F- Ratio</b>
<i>Factor C</i>	0.27	1	0.27	11.739
<i>Factor t</i>	412.34	1	412.34	17927.826
<i>Factor s</i>	52.71	1	52.71	2291.739
<i>Interacción Ct</i>	0.80	1	0.80	34.783
<i>Interacción Cs</i>	6.03	1	6.03	262.174
<i>Interacción ts</i>	0.34	1	0.34	14.783
<i>Interacción Cts</i>	0.19	1	0.19	8.261
<i>Curvatura</i>	59.107	1	59.107	2569.870
<i>Error</i>	0.023	1	0.023	
<i>Total</i>	<b>531.81</b>	9		

**Fuente:** elaboración propia

Haciendo uso del software estadístico Minitab 19, se pudo obtener la tabla Anova para comparar resultados realizados anteriormente mediante el análisis estadístico, esta se puede observar en la tabla 33.

**Tabla 33.**

*Análisis de la varianza (tabla Anova)*

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor
		Ajust.	Ajust.		p
Modelo	8	531.798	66.475	2876.14	0.014
Lineal	3	465.326	155.109	6711.04	0.009
Concentracion	1	0.268	0.268	11.61	0.182
Tiempo	1	412.347	412.347	17840.88	0.005
% de solidos	1	52.711	52.711	2280.62	0.013
Interacciones de 2 términos	3	7.168	2.389	103.37	0.072
Concentracion*Tiempo	1	0.805	0.805	34.81	0.107
Concentracion*% de solidos	1	6.026	6.026	260.71	0.039
Tiempo*% de solidos	1	0.337	0.337	14.60	0.163
Interacciones de 3 términos	1	0.189	0.189	8.20	0.214
Concentracion*Tiempo*% de solidos	1	0.189	0.189	8.20	0.214
Curvatura	1	59.115	59.115	2557.69	0.013
Error	1	0.023	0.023		
Total	9	531.821			

**Fuente:** software estadístico Minitab 19.

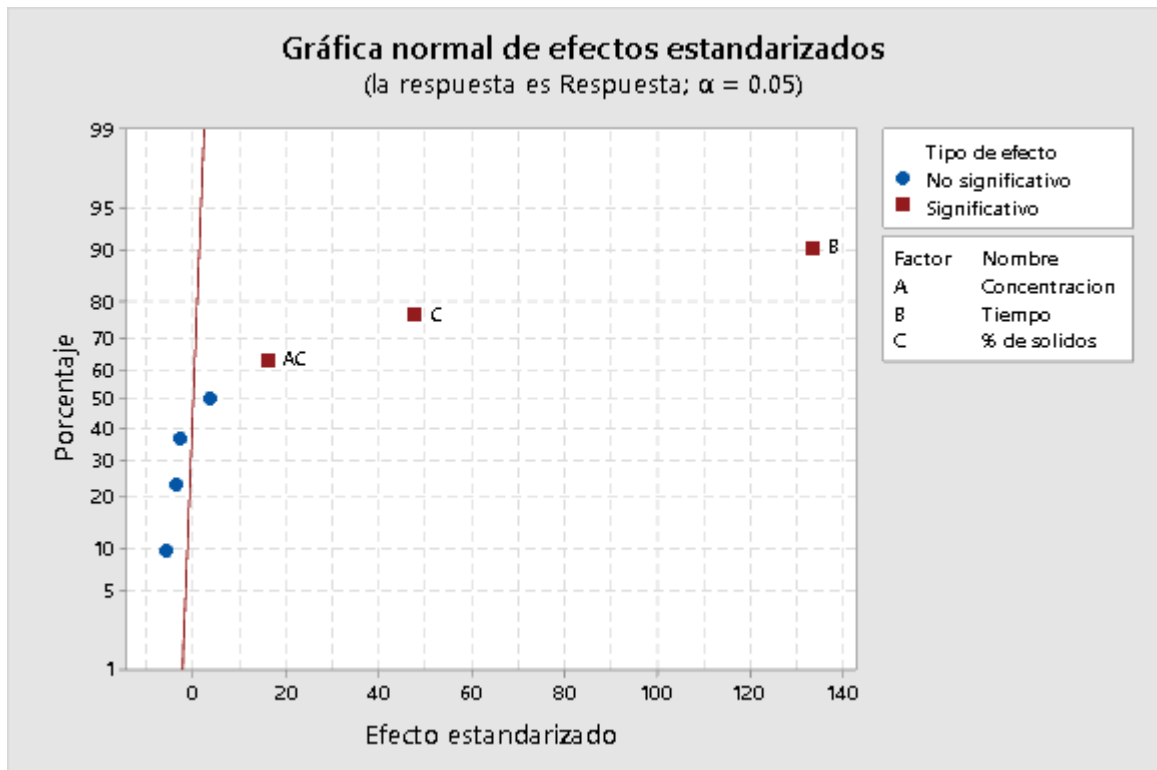


Figura 14. Efectos normales estandarizados para la respuesta.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

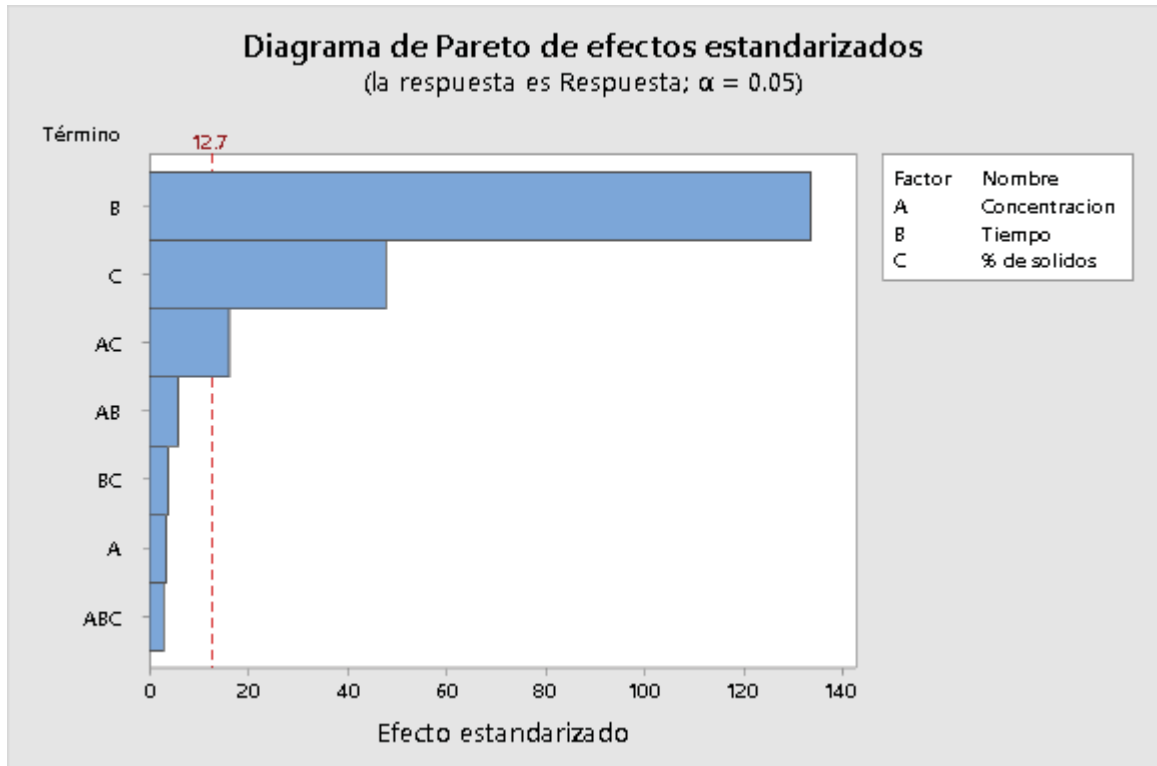


Figura 15. Diagrama de Pareto.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.



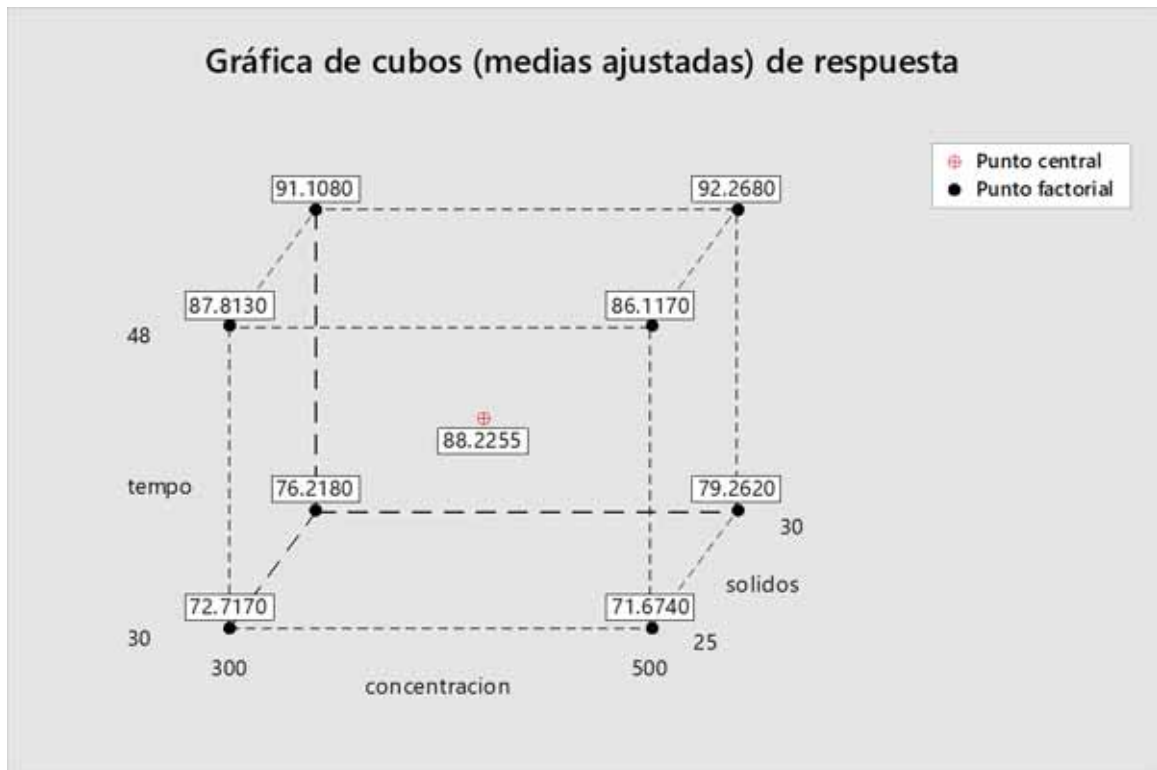


Figura 16. Gráfica de cubos.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

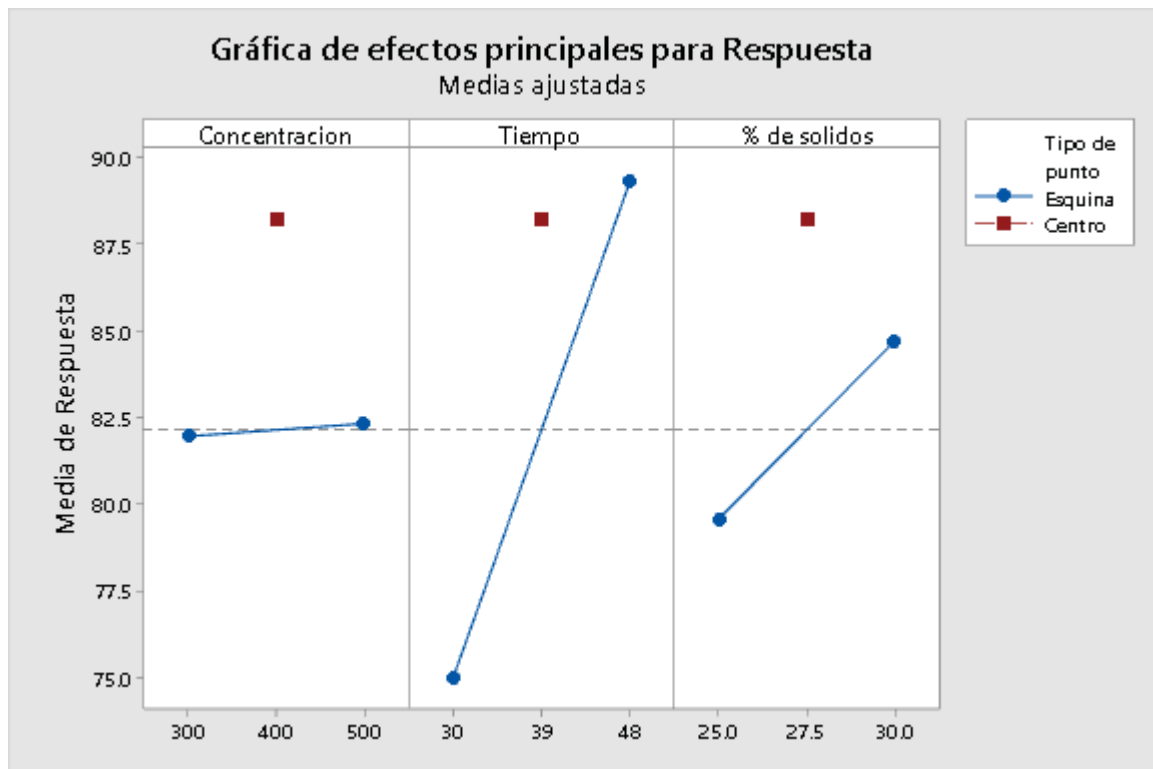


Figura 17. Efectos principales de cada variable para la respuesta.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

## CAPITULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1. Análisis de resultados mediante análisis químico.

En la tabla 13, podemos apreciar la extracción de Oro (mg/ L) de cada prueba aplicada al experimento a diferentes condiciones operativas, y obtenida en base a análisis químico de la solución lixiviada. Pues se observa que en la prueba 8, obtenemos un máximo de 7.16 mg/L, y un mínimo de 4.31 mg/L en la prueba 3.

Realizando los cálculos en el balance metalúrgico de cabeza calculada, llegamos obtener un porcentaje de extracción de cada una de las pruebas en mención como se muestra en la tabla 24. Donde dos de las pruebas obtuvieron una extracción de Oro por encima del 90 % y la prueba 8 alcanzó un máximo de 92.268%.

En la tabla 25, apreciamos la cinética de lixiviación por agitación según a tiempos estimado de 10, 24, 36, 48 horas donde a partir de las 30 horas ya se extrae más del 80 %. En la curva de la figura 11, se observa que a partir de las 24 horas la pendiente extracción vs tiempo se reduce considerablemente.

#### 6.2. Análisis de los resultados mediante diseño factorial.

En la tabla 30, se aprecia el cálculo de los efectos que repercuten en la variable respuesta y se puede deducir la siguiente observación:

- Al aumentar el tiempo de lixiviación de 30 a 48 horas, el porcentaje de extracción de Oro incrementa en un 14.36 % siendo el efecto de mayor significancia.
- Al aumentar el porcentaje de solidos de 25 a 30 %, el porcentaje de extracción de Oro incrementa en un 5.13 % siendo el efecto de significancia.

- Al aumentar el valor de la interacción de factores (concentración de reactivo y porcentaje de sólidos), el porcentaje de extracción de Oro incrementa en un 1.74 % siendo el efecto de poca significancia.
- Para el caso de los efectos donde los valores muy pequeños (cerca de cero), estas no presentan importancia en el análisis del experimento.

En la figura 14, de efectos normales, cada punto representa la significancia o no de los factores respecto al efecto y las respectivas interacciones, se puede observar que el factor principal B (tiempo de lixiviación), C (% de sólidos) y la interacción AC (concentración - % de sólidos) están de color rojo indicándonos que son los más significativos en el experimento.

Los puntos de color azul son efectos que no presentan significancia en la variable respuesta.

En la figura 15, Diagrama de Pareto, se aprecia la misma información que en la figura 14. Pero graficada de otra forma, el factor B (tiempo de lixiviación), C (% de sólidos) y AC (concentración - % de sólidos) son los más significativos por estar sobrepasando la línea de margen de error.

En la tabla 33, el análisis de la varianza (ANOVA), los valores del factor P que tienen un valor menor a 0.05 son las más significativas en el proceso en este caso son el tiempo de lixiviación, el porcentaje de sólidos y la interacción de la concentración con el porcentaje de sólidos.

## CONCLUSIONES

En el siguiente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

- En la lixiviación del mineral aurífero con el reactivo sandioss alcanzó un máximo de 92.268 % de extracción de Oro, lo que significa que este reactivo puede ser aplicado como una alternativa en la lixiviación.
- El tiempo de lixiviación para lograr la extracción de 92.268 % fue de 48 horas, pero según la hipótesis presentada el porcentaje de extracción de Oro fue de 90%, con lo que el tiempo óptimo de lixiviación sería un aproximado de 44 horas.
- El porcentaje de sólidos en pulpa para las óptimas condiciones de operación es de 30 %, así mismo la concentración de reactivo sandioss es de 500 ppm. Pero estos factores tienen muy poca relevancia.
- El uso del reactivo lixivante sandioss para la extracción de Oro a partir de minerales auríferos del yacimiento minero Chocrocoña, mediante el proceso de lixiviación por agitación alcanzo valores por encima de 90%, lo que nos permite aceptar la hipótesis planteada. De esta manera afirmamos lo propuesto por el fabricante.

## RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de lixiviación comparativas con otros reactivos como el cianuro de sodio para el tipo de mineral empleado, ya que el fabricante informa que el reactivo Sandioss trabaja a las mismas condiciones operativas que el reactivo antes mencionado.
- Realizar estudios para la identificación de cianuro libre posterior a la lixiviación y en que rangos se encuentra, con el fin de conocer si el reactivo en cuestión es amigable con el medio ambiente tal como afirma el fabricante.

## Referencia bibliográfica

### Libros

- Instituto Minero GeoMinero de España. (1991). Minería-Química.
- Hernández, S. (2014). Metodología de la investigación. México.
- Misari, Ch, F. (2010). Metalúrgica del Oro. Lima, Perú: San Marcos.
- Miranda, L. & Medina, E. (2015), Investigando en Ingeniería. Arequipa, Perú: UNSA.
- Ruiz, M. (2007). Hidrometalurgia. Chile: Departamento de Hidrometalurgia.
- Robert O, kuehl. (2001). Diseño de experimentos. México.
- Valderrama, S & León, L. (2009). Técnicas e instrumentos para la obtención de datos en la investigación científica. Lima, Perú: San Marcos.
- Vargas, G. J (1990). Metalurgia del Oro y la Plata. Lima, Perú: San Marcos.

### Libros Electrónicos

- Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente (2001). El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro. Recuperado de:  
<http://www.panoramaminero.com.ar/ICMME.pdf>. (23 noviembre 2018).
- Análisis y Diseño de Experimentos, Gutierrez.P.H.2ªedicion, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA

### Tesis de Grado

- Chahuayo, E., & Alejandro, A. (2012).Estudio de Optimización para Mejorar la Lixiviación Cianurante de un Mineral Refractario de Oro y Plata conteniendo Antimonio de la zona de Huampar Lima, (Tesis de Pregrado).Universidad Nacional del Centro, Huancayo, Perú.
- Huaco, M. (2017).Evaluación del Porcentaje de Disolución de Oro en la Lixiviación con Sandioss mediante diseños experimentales (Tesis de Pregrado).Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

- Padierna, J. & Zegarra, Y. (2016). Recuperación de Oro utilizando Sandioss como alternativa al Cianuro de Sodio en la Lixiviación Alcalina por Agitación de Minerales tipo Oxido, Sulfuro y Carbonaceo (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

**webgrafia**

- Sandioss. (2015). Recuperado de: <http://bioper.com.pe/>. (5 febrero 2018).

# APÉNDICE 1





## 1. Matriz de Consistencia

### EXTRACCIÓN DE ORO MEDIANTE EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON EL REACTIVO SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO CHOCROCOÑA, LLUSCO -CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Se podrá extraer Oro en el proceso de lixiviación usando el reactivo Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco- Chumbivilcas región Cusco?</li> </ul> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué tiempo de lixiviación se requiere para extraer Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas, región Cusco?</li> <li>¿Cuánto será el porcentaje de sólidos en pulpa para la extraer Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas, región Cusco?</li> <li>¿Qué concentración de reactivo se requiere para extraer Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas, región Cusco?</li> </ul>	<p><b>Objetivo General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar el porcentaje de extracción de Oro, mediante el proceso de lixiviación con Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar el tiempo de lixiviación óptimo para la extracción de Oro en el proceso de lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> <li>Evaluar el porcentaje de sólidos en pulpa para extracción de Oro en el proceso de lixiviación Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> <li>Evaluar la concentración del reactivo Sandioss para la extracción de Oro en el proceso de lixiviación de minerales del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con el reactivo Sandioss se obtiene el 90% de extracción de Oro, en la lixiviación de minerales auríferos del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> </ul> <p><b>Hipótesis Específica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La extracción de Oro es mayor conforme aumenta el tiempo de lixiviación con Sandioss, del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> <li>El porcentaje de solidos optimo es de 30% para la extraer Oro en la lixiviación con Sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> <li>La concentración del reactivo sandioss es de 500 ppm, para una mayor extracción de Oro en la lixiviación de minerales del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco – Chumbivilcas región Cusco.</li> </ul>	<p><b>VARIABLES</b></p> <p><b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de sandioss</li> <li>Tiempo de lixiviación.</li> <li>Porcentaje de sólidos en pulpa</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentaje de extracción de Oro.</li> </ul> <p><b>VARIABLES INTERVINIENTES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Características del mineral</li> <li>Oxidación del mineral</li> <li>Temperatura y presión</li> </ul> <p><b>INDICADORES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Presencia de Oro en la solución PLS según el reporte de análisis químico por absorción atómica en solución alcalina.</li> <li>Volumen del reactivo Sandioss sometido a la prueba metalúrgica.</li> <li>Contenido de Oro extraído en función del tiempo.</li> <li>Contenido de sólidos en pulpa.</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>Experimental.</p> <p><b>Nivel de Investigación</b></p> <p>Descriptivo - explicativo</p> <p><b>Población y Muestra</b></p> <p>Reservas de mineral aurífero oxidado del yacimiento minero Chocrocoña distrito de Llusco-Chumbivilcas región Cusco.</p> <p><b>Técnicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pruebas a nivel de laboratorio.</li> <li>Software Minitab 18.</li> <li>Reporte de análisis químico</li> </ul> <p><b>Instrumentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Libros, revistas, artículos.</li> <li>Libreta de notas.</li> <li>Instrumentos de medición.</li> </ul>

## 2. Balance de pulpa de cada muestra.

## Muestra 1

		100 pulpa		1000 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1250	Mineral	25	10	294.12	117.65
<i>G.E</i>	2.5	Agua	75	75	882.35	882.35
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1000	Pulpa	100	85	1176.47	1000.00

## Muestra 2

		100 pulpa		1008 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1260	Mineral	30	12	368.78	147.51
<i>G.E</i>	2.5	Agua	70	70	860.49	860.49
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1008	Pulpa	100	82	1229.27	1008.00

## Muestra 3

		100 pulpa		952 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1190	Mineral	25	10	280.00	112.00
<i>G.E</i>	2.5	Agua	75	75	840.00	840.00
<i>Vol. Reactor 80%</i>	952	Pulpa	100	85	1120.00	952.00

## Muestra 4

		100 pulpa		1000 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1250	Mineral	25	10	294.12	117.65
<i>G.E</i>	2.5	Agua	75	75	882.35	882.35
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1000	Pulpa	100	85	1176.47	1000.00

## Muestra 5

		100 pulpa		1080 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1350	Mineral	30	12	395.12	158.05
<i>G.E</i>	2.5	Agua	70	70	921.95	921.95
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1080	Pulpa	100	82	1317.07	1080.00

## Muestra 6

		100 pulpa		1008 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1260	Mineral	25	10	296.47	118.59
<i>G.E</i>	2.5	Agua	75	75	889.41	889.41
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1008	Pulpa	100	85	1185.88	1008.00

## Muestra 7

		100 pulpa		952 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1190	Mineral	30	12	348.29	139.32
<i>G.E</i>	2.5	Agua	70	70	812.68	812.68
<i>Vol. Reactor 80%</i>	952	Pulpa	100	82	1160.98	952.00

## Muestra 8

		100 pulpa		1080 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1350	Mineral	30	12	395.12	158.05
<i>G.E</i>	2.5	Agua	70	70	921.95	921.95
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1080	Pulpa	100	82	1317.07	1080.00

## Muestra 9

		100 pulpa		992 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1240	Mineral	27.5	11	326.71	130.68
<i>G.E</i>	2.5	Agua	72.5	72.5	861.32	861.32
<i>Vol. Reactor 80%</i>	992	Pulpa	100	83.5	1188.02	992.00

## Muestra 10

		100 pulpa		1138.17 pulpa		
		g	ml	g	ml	
<i>Vol. Reactor</i>	1423	Mineral	27.5	11	374.85	149.94
<i>G.E</i>	2.5	Agua	72.5	72.5	988.23	988.23
<i>Vol. Reactor 80%</i>	1138.17	Pulpa	100	83.5	1363.08	1138.17

### 3. Tabla de control del proceso de lixiviación con Sandioss.

Prueba 1							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	882.35	0.03	0	0.423528	1.529	12	0
0.5	882.35	0.03	0.1	0.2505874	1.529	9.8	0.280316667
1	882.35	0.03	0.2	0.0776468	1.529	10.3	0.216608333
2	882.35	0.03	0.2	0.0776468	1.529	10.3	0.216608333
5	882.35	0.03	0.2	0.0776468	1.529	10.8	0.1529
10	882.35	0.03	0.25	-0.0088235	1.529	11	0.127416667
15	882.35	0.03	0.25	-0.0088235	1.529	11	0.127416667
20	882.35	0.03	0.25	-0.0088235	1.529	11	0.127416667
25	882.35	0.03	0.25	-0.0088235	1.529	11	0.127416667
30	882.35	0.03	0	0.423528	1.529	12	0
Prueba 2							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	860.48	0.03	0	0.4130304	1.917	12	0
0.5	860.48	0.03	0.05	0.32870336	1.917	9.8	0.35145
1	860.48	0.03	0.2	0.07572224	1.917	10.3	0.271575
2	860.48	0.03	0.2	0.07572224	1.917	10.5	0.239625
5	860.48	0.03	0.25	-0.0086048	1.917	10.8	0.1917
10	860.48	0.03	0.25	-0.0086048	1.917	11.1	0.143775
15	860.48	0.03	0.25	-0.0086048	1.917	11	0.15975
20	860.48	0.03	0.3	-0.09293184	1.917	11	0.15975
25	860.48	0.03	0.3	-0.09293184	1.917	11	0.15975
30	860.48	0.03	0	0.4130304	1.917	0	1.917
Prueba 3							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	840	0.05	0	0.672	1.456	12	0
0.5	840	0.05	0.2	0.34272	1.456	9.9	0.2548
1	840	0.05	0.3	0.17808	1.456	10.3	0.206266667
2	840	0.05	0.3	0.17808	1.456	10.5	0.182
5	840	0.05	0.3	0.17808	1.456	10.7	0.157733333
10	840	0.05	0.4	0.01344	1.456	10.9	0.133466667
15	840	0.05	0.4	0.01344	1.456	11.1	0.1092
20	840	0.05	0.45	-0.06888	1.456	11	0.121333333
25	840	0.05	0.45	-0.06888	1.456	11	0.121333333
30	840	0.05	0	0.672	1.456	0	1.456
Prueba 4							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	882.35	0.03	0	0.423528	1.53	12	0
0.5	882.35	0.03	0.12	0.21599928	1.53	11.7	0.03825
1	882.35	0.03	0.12	0.21599928	1.53	11.8	0.0255
2	882.35	0.03		-1.305878	1.53	11.8	0.0255
5	882.35	0.03	0.18	0.11223492	1.53	11.8	0.0255
10	882.35	0.03	0.2	0.0776468	1.53	11.9	0.01275
15	882.35	0.03	0.2	0.0776468	1.53	11.9	0.01275
20	882.35	0.03	0.3	-0.0952938	1.53	12	0
25	882.35	0.03	0.18	0.11223492	1.53	12	0
30	882.35	0.03	0.27	-0.04341162	1.53	12	0
35	882.35	0.03	0.2	0.0776468	1.53	12	0
40	882.35	0.03	0.27	-0.04341162	1.53	12	0
48	882.35	0.03	0	0.423528	1.53	12	0
Prueba 5							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	921.95	0.05	0	0.73756	2.054	12	0
0.5	921.95	0.05	0.2	0.3761556	2.054	9.5	0.427916667
1	921.95	0.05	0.3	0.1954534	2.054	10.2	0.3081
2	921.95	0.05	0.3	0.1954534	2.054	10.4	0.273866667
5	921.95	0.05	0.35	0.1051023	2.054	10.6	0.239633333
10	921.95	0.05	0.4	0.0147512	2.054	11.1	0.15405
15	921.95	0.05	0.4	0.0147512	2.054	11.1	0.15405
20	921.95	0.05	0.4	0.0147512	2.054	11	0.171166667
25	921.95	0.05	0.45	-0.0755999	2.054	11	0.171166667
30	921.95	0.05	0	0.73756	2.054	0	2.054

Prueba 6							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
1	889.41	0.05	0.15	0.45004146	1.54	11.8	0.025666667
2	889.41	0.05	0.18	0.397744152	1.54	11.8	0.025666667
5	889.41	0.05	0.23	0.310581972	1.54	11.8	0.025666667
10	889.41	0.05	0.4	0.01423056	1.54	11.9	0.012833333
15	889.41	0.05	0.5	-0.1600938	1.54	11.9	0.012833333
20	889.41	0.05	0.4	0.01423056	1.54	12	0
25	889.41	0.05	0.35	0.10139274	1.54	12	0
30	889.41	0.05	0.45	-0.07293162	1.54	12	0
35	889.41	0.05	0.5	-0.1600938	1.54	12	0
40	889.41	0.05	0.4	0.01423056	1.54	12	0
48	889.41	0.05	0	0.711528	1.54	12	0

Prueba 7							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0.5	812.68	0.03	0.12	0.198944064	1.81	11.9	0.015083333
1	812.68	0.03	0.15	0.15115848	1.81	11.9	0.015083333
2	812.68	0.03	0.15	0.15115848	1.81	11.8	0.030166667
5	812.68	0.03	0.19	0.087444368	1.81	11.8	0.030166667
10	812.68	0.03	0.2	0.07151584	1.81	11.9	0.015083333
15	812.68	0.03	0.3	-0.08776944	1.81	11.9	0.015083333
20	812.68	0.03	0.25	-0.0081268	1.81	12	0
25	812.68	0.03	0.18	0.103372896	1.81	12	0
30	812.68	0.03	0.25	-0.0081268	1.81	12	0
35	812.68	0.03	0.2	0.07151584	1.81	12	0
40	812.68	0.03	0.23	0.023730256	1.81	12	0
48	812.68	0.03	0	0.3900864	1.81	12	0

Prueba 8							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	921.95	0.05	0	0.73756	2.05	12	0
0.5	921.95	0.05	0.15	0.4665067	2.05	11.9	0.017083333
1	921.95	0.05	0.25	0.2858045	2.05	11.9	0.017083333
2	921.95	0.05	0.22	0.34001516	2.05	11.8	0.034166667
5	921.95	0.05	0.25	0.2858045	2.05	11.9	0.017083333
10	921.95	0.05	0.4	0.0147512	2.05	11.9	0.017083333
15	921.95	0.05	0.5	-0.165951	2.05	11.9	0.017083333
20	921.95	0.05	0.4	0.0147512	2.05	12	0
25	921.95	0.05	0.4	0.0147512	2.05	12	0
30	921.95	0.05	0.35	0.1051023	2.05	12	0
35	921.95	0.05	0.2	0.3761556	2.05	12	0
40	921.95	0.05	0.5	-0.165951	2.05	12	0
48	921.95	0.05	0	0.73756	2.05	12	0

Prueba 9							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	861.32	0.04	0	0.5512448	1.7	12	0
0.5	861.32	0.04	0.1	0.38242608	1.7	11.8	0.028333333
1	861.32	0.04	0.2	0.21360736	1.7	11.8	0.028333333
2	861.32	0.04	0.2	0.21360736	1.7	11.8	0.028333333
5	861.32	0.04	0.2	0.21360736	1.7	11.9	0.014166667
10	861.32	0.04	0.3	0.04478864	1.7	11.9	0.014166667
15	861.32	0.04	0.3	0.04478864	1.7	11.9	0.014166667
20	861.32	0.04	0.3	0.04478864	1.7	12	0
25	861.32	0.04	0.25	0.129198	1.7	12	0
30	861.32	0.04	0.35	-0.03962072	1.7	12	0
35	861.32	0.04	0.3	0.04478864	1.7	12	0
39	861.32	0.04	0	0.5512448	1.7	12	0

Prueba 10							
Tiempo (H)	Vol. Reactor (ml)	Conc. Sandioss (%)	Gasto titul. (Ag NO3)(ml)	Repos.Reac. (g)	Cal inicial (g)	pH	Repoci. Cal (g)
0	988.23	0.04	0	0.6324672	1.95	12	0
0.5	988.23	0.04	0.1	0.43877412	1.95	11.8	0.0325
1	988.23	0.04	0.15	0.34192758	1.95	11.8	0.0325
2	988.23	0.04	0.18	0.283819656	1.95	11.8	0.0325
5	988.23	0.04	0.25	0.1482345	1.95	11.8	0.0325
10	988.23	0.04	0.32	0.012649344	1.95	11.9	0.01625
15	988.23	0.04	0.4	-0.14230512	1.95	12	0
20	988.23	0.04	0.33	-0.006719964	1.95	12	0
25	988.23	0.04	0.33	-0.006719964	1.95	11.9	0.01625
30	988.23	0.04	0.3	0.05138796	1.95	12	0
35	988.23	0.04	0.38	-0.103566504	1.95	12	0
39	988.23	0.04	0	0.6324672	1.95	12	0

## **APÉNDICE 2**

**Foto 1. Pulpa en reactores de agitación**



**Foto 2. Medicion de pH de pulpa.**





**Foto 3. Extracción de solución lixiviada para medición de pH.**



**Foto 4. Extracción de solución lixiviada para la titulación.**



Foto 5. Lixivioacion con sandioss.



Foto 6. Mineral, reactivo y cal antes del proceso.



**Foto 7. Titulacion del proceso.**



**Foto 8. Reactivo lixivante SANDIOSS.**





Foto 9. Soluciones PLS para analisis quimico.

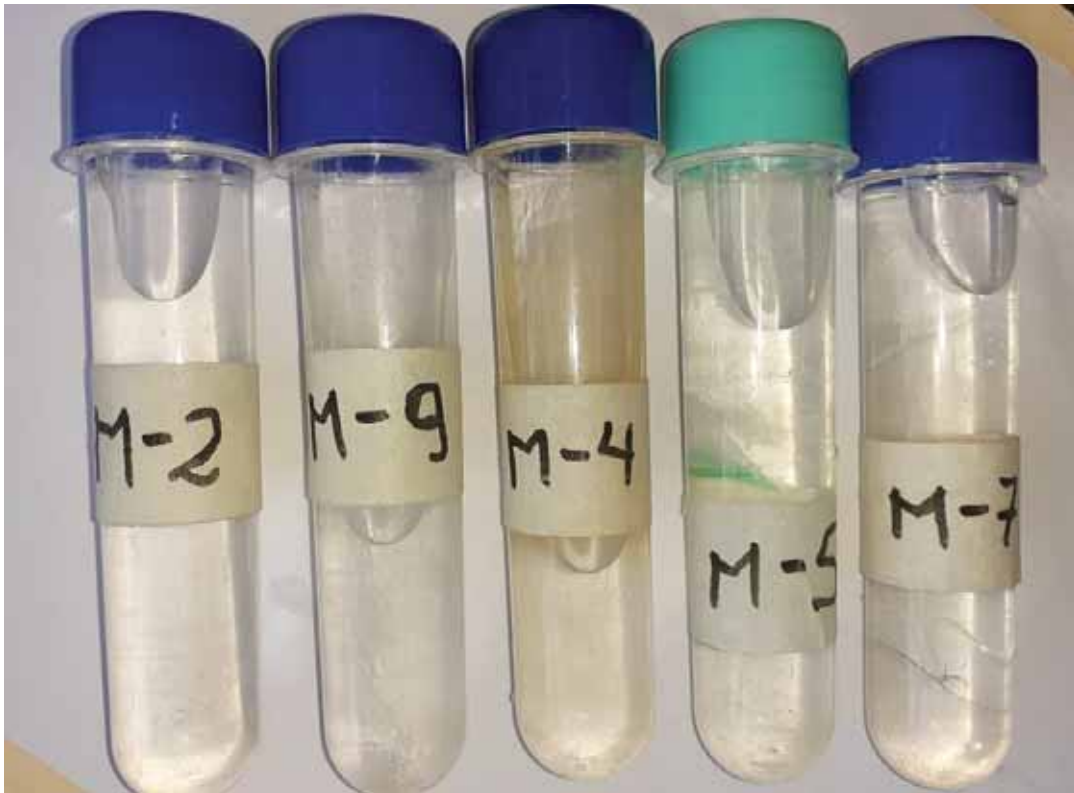


Foto 10. Relave de la prueba 4 para analisis quimico.



# **ANEXO 1**

# 1. Reporte de analisis quimico de Oro en el mineral de cabeza, la solucion PLS y los rípios.



confiable ...siempre!.

## ENSAYO DE LABORATORIO

Página 1 de 1

Análisis solicitado por: HMY HOMERIO GARCIA  
 Asunto: ANÁLISIS QUÍMICO  
 Instrucciones Ensayo: Tipo RECONOCIMIENTO  
 Características: En bolsa plástica  
 Recepción de Muestras: Mineral grueso a 1/2"  
 Referencia Cliente: Mineral  
 Lugar de Recepción: Nasca  
 Cantidad Muestras: 01  
 Fecha de Recepción: 05/08/2017  
 Fecha de Ensayo: 05/08/2017

CÓDIGO	CÓDIGO	Au (g/g)
04420	M-1	0.904

Elemento: Método  
 Oro: Fire Assay

Nota:  
 Los resultados expresados son representativos de la muestra indicada.



Román Rodríguez  
 Jefeatura de Laboratorio

**OFICINA PRINCIPAL Y LABORATORIO**  
 DIRECCIÓN: CALLE SUCRES Y SAN CARLOS- NASCA  
 TEL: 056-321671  
 C.L. 95-0472045 RUC: 42640741  
 RNE: 950-381360

**OFICINA Y LABORATORIO - NASCA**  
 CARRERA 1100 - PARRAL - CALLE SUCRES Y SAN CARLOS  
 RNE: 950-381360

**OFICINA Y LABORATORIO - PUNO**  
 DIRECCIÓN: CALLE TERCERA 4240 CAL. XV. 1017  
 TEL: 05258-2772 - FAX: 05258-2772  
 RNE: 38132-2230



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-02439

Fecha de emisión: 20/05/2019

Página 1 de 1

Señores: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCIA  
Dirección: AV. DE LA CULTURA 773.  
Atención: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCIA  
Recepción: 18/05/2019  
Realización: 18/05/2019  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

### Métodos ensayados

\*551 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Absorción atómica

\*552 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimétrica

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*551 Au		*552 Au	
				gTM	ccTC	gTM	ccTC
NN18033282	R - 10	No proporcionado por el cliente.	minera suvalzado	0,720	0,02169	—	—
NN18035088	S - 2	No proporcionado por el cliente.	minera suvalzado	—	—	17,38	0,5070

Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operación  
U.S. Huancabamba CP 11425

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, \*\*«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como una calificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados aquí están relacionados a la muestra ensayada.

Es estrictamente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido de presente documento lo anula.

Nº 11605



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-07901

Fecha de emisión: 10/12/2018

Página 1 de 1

Señores: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCÍA  
Dirección: AV. DE LA CULTURA 773  
Atención: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCÍA  
Recepción: 10/12/2018  
Realización: 10/12/2018  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

### Métodos ensayados

\*901 Método de ensayo para Oro por Absorción Atómica en solución Alcalina

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*901 Au mg/L
SS18001393	M-4	No proporcionado por el cliente	Solución de cianuro	5,26
SS18001394	M-6	No proporcionado por el cliente	Solución de cianuro	5,19
SS18001395	M-7	No proporcionado por el cliente	Solución de cianuro	7,07
SS18001396	M-8	No proporcionado por el cliente	Solución de cianuro	7,16
SS18001397	M-9	No proporcionado por el cliente	Solución de cianuro	8,02

*[Firma manuscrita]*  
Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
Omar A. Jarama Soto  
Gerente de Operaciones  
M. S. Promotora Química CIP 114408

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento anula.

N-18 N° 7548





## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-02978

Fecha de emisión: 10/06/2019

Página 1 de 1

Señores: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCÍA  
Dirección: AV. DE LA CULTURA 773  
Atención: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCÍA  
Recepción: 07/05/2019  
Realización: 07/05/2019  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

#### Métodos ensayados

\*001 Método de Ensayo a fuego para Oro por pesamiento Asociación técnica

Código Interno L.A.S.	(a) Nombre de Muestra	(b) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*991 An	
				gTM	gA70
KN 60308 *	R-8	no proporcionado por el cliente	oro para ensayo	0,256	0,00745

(\*) datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

----- Fin de informe -----

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.U.L.  
Lissette A. Torres Galizaya  
INGENIERO QUÍMICO  
C.I.P. 126629

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, \*«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Esta información es confidencial y su reproducción, parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento será responsabilidad del cliente.

**Nº 12340**



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00099

Fecha de emisión: 07/03/2019

Página 1 de 1

Señores: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCÍA  
Dirección: AV. DE LA CULTURA 773  
Atención: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCÍA  
Recepción: 06/03/2019  
Realización: 06/03/2019  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

### Métodos ensayados

\*901 Método de ensayo para Oro por Absorción Atómica en solución Alcalina

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*901 Au mg/L
SS19000286	M-11-1	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	2,81
SS19000288	M-11-2	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	6,81
SS19000287	M-2	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	5,92
SS19000288	M-3	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	4,31
SS19000288	M-5	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	6,11
SS19000290	M-11	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	6,08
SS19000291	M-1	No proporcionado por el cliente	Solución de diamuro	4,38

*Jimmy*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Suito Vicentín Juárez Nave  
Gerente General  
mg. Gálvez C. P. 19471

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 9550



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-07843

Fecha de emisión: 07/12/2018

Página 1 de 1

Señores: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCIA  
Dirección: AV. DE LA CULTURA 773.  
Atención: JIMMY OCTAVIO ROMERO GARCIA  
Recepción: 07/12/2018  
Realización: 07/12/2018  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

### Métodos ensayados

\*901 Método de ensayo para Oro por Absorción Atómica en solución A calina

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*901 Au mg/L
0015001381	N-18	No proporcionado por el cliente.	Solución en agua	7.00

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Leslie A. Torres Calizaya  
INGENIERO QUÍMICO  
C.I.R. 18969

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con lo más de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Esta terminantemente prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento la anula.

N-18 N° 7469

## **ANEXO 2**

## 2. Hojas de seguridad MSDS de SANDIOSS.

1 / 6

# Material Safety Data Sheet (MSDS)

## 圣的 SandiOSS GOLD LIXIVIANT

El reactivo sin cianuro SandiOSS, es nacional e internacionalmente un producto nuevo de alta tecnología para extraer oro. Con el producto, no hay que cambiar los aparatos anteriores de lixiviación ni cambiar el proceso anterior de cianuración.

El producto 100% lixivante ecológico aplica en las minas de micro-fino, primarias, de óxido, de semi-óxido, de sulfuro, de concentrado, el relave cianurado y escombros electrónicos, además en las pilas (heap leaching), la pulpa (agitación) y piscina (poza) tienen las ventajas de recuperación alta, disolución de oro rápida, costo bajo en la lixiviación, rendimiento bueno de extraer, la manipulación fácil, almacenamiento seguro y transportación fácil.

### 1 Introducción

La marca: 圣的 SandiOSS  
Nombre chino: 环保选矿剂  
Nombre en inglés: GOLD LIXIVIANT



### 2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Nombres de los componentes: Complejo  
Apariencia: Partículas sólidas, Gris, Olor a amoníaco  
Solubilidad: Soluble  
Densidad: (Agua=1): 1.28 (17°C)  
Valor pH: 10.5

### 3 COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Descripción: porcentaje de los componentes

Nombres de los componentes	CAS NO	Porcentaje de peso %
Na <sub>2</sub> O	1313-59-3	30%
N	7727-37-9	20%
NH <sub>4</sub>	14798-03-9	20%

上海圣的新材料有限公司  
Shanghai SandiOSS New Material Co., Ltd



CaO	1305-78-8	20%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1309-37-1	10%

#### 4 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Datos de toxicidad aguda por vía oral de animales: el método de prueba, el de prueba de sustancia química 401 y la prueba de toxicidad aguda por vía oral está aprobado por la Administración Estatal de Protección Ambiental (2004) ; según resultado de la prueba y bajo las circunstancias de la presente prueba, el valor LD50 de toxicidad aguda de administración oral para ratón hembra sería 584mg/kg y el intervalo de confianza 95% sería 430-794mg/kg; el valor LD50 para ratón macho sería 584mg/kg y el intervalo de confianza 95% sería 430-794mg/kg.

El presente producto es ligeramente tóxico y de protección ambiental.

- Identificación del peligro de corrosión: no pertenece a corrosivos.
- Identificación de contenido de sustancia tóxica de residuos peligrosos: Requerimiento de norma o cláusula de norma - Identificación de Residuos Peligrosos GB 5085.6-2007 y Identificación de Contenido de Sustancia Tóxica Estándar 4.1 -GB5085.6-2007. De acuerdo con resultado de la prueba, no se detectaron iones cianuro y el mínimo contenido detectado es  $5,12 \times 10^{-3}$ mg/kg. El contenido de iones cianuro no supere el límite.
- Datos de estimulación de animales: de ligera irritación.
- Detección de cromo hexavalente de residuos sólidos: todos los siguientes elementos no sobrepasan la norma: arsénico, cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y cinc.

#### 5 AREA DE APLICACION

- El producto Sandioss sirve para oro micro fino, minas oxidadas y semi-óxido, primarias, de sulfuro, de concentrado, de relave cianurado, lodo anódico, escombros electrónicos etc.

#### 6 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- Solubilidad: soluble en el agua
- Componentes de disolución: se separan iones tales como amonio, cianuro de oxígeno, cianúrico, etc. Es el agente complejante orgánico compuesto que cuenta con naturaleza de reducción, y se puede formar complejos con varios iones metálicos.
- La degradación: los iones tales como amonio, cianuro de oxígeno, cianúrico, etc. Puede degradarse por si mismo.
- Oligómero Nocivo: La polimerización peligrosa no ocurriría.

## 7 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- Perjuicio ecológico: no es perjudicial sobre los organismos acuáticos y medio ambiente acuático.
- Aguas residual/degradación: agua residual de lixiviación de oro (solución pobre) puede ser reutilizado y agua de lavado puede degradarse automáticamente en un corto periodo de tiempo, descargandose seguramente.
- Relaves(residuos): Después del lavado, no se detectó iones de cianuro de relaves.
- Emisión de gas: No contiene gases tóxicos en el producto.  
No contiene gas de exterminio.  
No cuenta con gas radiactivo en los relaves, es inodoro y no huele mal tras largo temporada de existencia de presa de relaves.
- Medio ambiente y precauciones: requerimientos sobre medio ambiente local varían según países y tiene que ejercer depuración de agua residual de acuerdo con requerimientos del gobierno local.

## 8 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

- *NFPA* – Categoría (Area: 0 - 4)



**Peligro para salud = 1 (Baja Toxicidad, irritación); Peligro de incendio = 0 (no inflamable);  
Reactividad = 0 (estable)**

- Riesgos: El producto es de baja toxicidad, no inflamable y alta estabilidad, el polvogenerado en el proceso causa perjuicio al inhalarlo.
- Vía de intrusión: contacto con la piel, contacto con los ojos, ingestión, inhalación.
- Potenciales efectos agudos sobre la salud:
- Contacto con los ojos: es irritable al contactar directamente con los ojos, puede causar algún dolor, enrojecimiento y lágrima de los ojos si no lo trata eficiente y adecuadamente, no frotar si entra algún polvo a los ojos.
- Contacto con la piel: no produce irritación significativa el contacto de poco tiempo y poca cantidad, pero puede estimular las áreas heridas de la piel y causar inflamación. Dada la buena higiene industrial, el contacto directo con cualquier producto químico se debe mantener al mínimo y hacer el trabajo de protección personal
- Inhalación: no causa daño significativo la inhalación de polvo con poco tiempo y

pequeña cantidad, el exceso de inhalación de una cantidad grande en poco tiempo puede provocar irritación respiratoria. Si la inhalación de polvo es de largo tiempo puede causar el daño pulmonar; en el momento del proceso y aplicación se debe tener protección respiratoria para evitar la inhalación excesiva del polvo.

- **Ingestión:** La ingestión del producto es considerado peligroso, no dejar al alcance de los niños.
- **Potenciales efectos crónicos sobre la salud:**
- **Efectos cancerígenos:** ingredientes contenidos en el producto no tiene un conocido carcinógeno significativo. (Clasificado por la NTP de IARC y OSHA de E.E.U.U).

## 9 MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación:** Si produce malestar, alejese de inmediato a un lugar aireado y fresco y mantenga la permeabilidad de la vía respiratoria, se debe dar oxígeno si tiene dificultad para respirar, si paraliza la respiración inmediatamente se aplica respiración artificial y se dirige a urgencias médicas.
- **Contacto con la piel:** limpie a fondo con agua corriente y jabón. **Contacto con los ojos:** Retire lentes de contacto (si los hay), levante los párpados superiores e inferiores, lave inmediatamente con abundante agua durante varios minutos si la situación no mejora consulte inmediatamente al médico.
- **Ingestión:** Después de ingerir excesivamente se enjuaga con agua, tome leche o clara de huevo y luego provoque vómito, consulte a un médico de inmediato

## 10 LUCHA CONTRA INCENDIOS

- **Información general:** En cualquier incendio, los bomberos deben usar aparatos de respiración autónoma y ropa protectora para evitar la inhalación de los gases tóxicos y nocivos generados por la combustión de la descomposición o a alta temperatura, y deben proteger los extintores para evitar una posible explosión cuando el recipiente se caliente.
- **Medios para extinguir el fuego:** Agua y extintor.
- **Punto de inflamación:** No aplicable.
- **Temperatura de auto ignición:** No aplicable.
- **Riesgo de incendio y peligro:** Ninguno.
- **Riesgo de incendio anormal o explosión:** Ninguno.

## 11 MEDIDAS CONTRA LIBERACIÓN ACCIDENTAL

- **Pequeñas fugas:** Cuando se produce una pequeña fuga, se limpia la sustancia directamente al recipiente de tratamiento.
- **Derrame y fuga importantes:** Cuando una fuga grande se produce, el área de la fuga debe ser aislada, el acceso es restringido para evitar la contaminación con el material fugado, se recicla el material fugado no contaminado al recipiente respectivo; los personales de reciclaje deben usar ropa de protección contra el



polvo, guantes protectores y máscaras contra el polvo, y limpian el material contaminado al recipiente de tratamiento dependiendo de la situación.

## 12 MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Manejo y manipulación:** Disponer medidas de protección para los operadores del producto, prestar atención en el momento de empacar y manipular para no producir daños y fugas, debe evitar la producción del polvo para que los operadores no inhalen excesivamente.

En el proceso de producción puede generar polvo o humos, por lo tanto, se debe hacer el trabajo relacionado de la protección personal y un plan integral del control de ventilación.

- **Almacenamiento:** el producto es fuertemente estable, generalmente no tiene exigencia estricta sobre la condición del almacenamiento, se puede almacenar según las condiciones normales, mantenga la zona de almacenamiento seca, ventilada y alejada de cualquier producto alimenticio y sustancia que puede reaccionar con el producto.

## 13 CONTROL DEL CONTACTO/ PROTECCIÓN PERSONAL

- **Control de ventilación e ingeniería:**

Cuando el producto está en el procesamiento se debe mantener buena ventilación.

- **Protección respiratoria:**



No hay necesidad de protección respiratoria si el tiempo del contacto con el producto es corto. Usar la máscara contra el polvo cuando por mucho tiempo aplica el producto en el procesamiento.

- **Protección corporal:**



Es necesaria la ropa a prueba del polvo.

- **Guantes protectores:**



Puede usar guantes largos de caucho.

- **Protección de los ojos:**



Use gafas protectoras.

No es necesario aplicar la protección de los ojos si el uso o el contacto con el producto son de poco tiempo o de poca cantidad.

Es necesario usar gafas protectoras si el procesamiento es de tiempo largo o de una cantidad masiva.

## 14 INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

- **Identificación de peligro:** Ninguno
- **Peligro de explosión:** La presente mercancía no pertenece a explosivo.

- Peligro inflamable: La presente mercancía no pertenece a inflamable.
- Peligro de oxidación: La presente mercancía no pertenece a oxidante y peróxido orgánico.
- Peligro de toxicidad y de infección: La presente mercancía pertenece a sustancia tóxica e infecciosa.
- Peligro radiactivo: La presente mercancía no cuenta con peligro radiactivo.
- Peligro corrosivo: La presente mercancía no pertenece a sustancia corrosiva.
- Otros peligros: La presente mercancía no cuenta con otros peligros.
- Requerimientos de embalaje: puede embalsarse según condiciones de la mercancía común.
- Facturación de transporte de mercancía de modo terrestre, marítimo, aéreo y de ferrocarril: hacerlo de acuerdo con las condiciones de mercancía común.
- Embalaje del producto: bolsa de membrana PP/PE impermeable, con revestimiento interior de membrana PE que es impermeable, antihumedad y anti-rotura.
- Peso de cada bolsa: 25 kg de peso neto.
- Paquete de tonelada estándar: una paleta es de 1000 kg (40 sacos\* 25 kg ).
- Dimensiones de paleta: largo 1,1 \* ancho 1,1 \* alto 1M.
- Estándar de embalaje: contenedor de 20 pies, capaz de transportar 20 toneladas de productos.
- Almacenamiento del producto: El producto es fácil de absorber la humedad, por lo tanto debe prestar atención a humedad, impermeable y sellado, y se lo coloca en un lugar seco y fresco realizando almacenamiento por paquete sellado.
- Almacenamiento en separación: se prohíbe almacenarse juntos con productos químicos ácidos y alimentos evitando que se come por ser humano y ganado.
- Establece régimen de producción y uso de seguridad completo del producto de acuerdo con regulaciones relevantes del país.

