

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD  
DEL CUSCO**

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



**TESIS:**

**“Lixiviación con Gold Max del oro de los relaves de la  
concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la  
compañía minera Galvin”.**

**Presentado por:**

**Bach. DELGADO FARFÁN GERSON VIRGILIO**

**Bach. KANCHA GUERRA JHON LINDER**

**Tesis para optar al Título Profesional de:**

**“INGENIERO METALÚRGICO”**

**ASESOR:**

**ING. CARRASCO TAPIA PORFIRIO**

**CUSCO – PERÚ**

**2023**

## **Dedicatoria**

**A Dios** por darme la fuerza de necesaria para continuar con el cumplimiento de mis metas que trace en mi vida, otorgándome salud y bienestar

**A mis padres Filomeno y Maruja**, por darme la confianza necesaria para que pueda lograr lo que me proponga en la vida, por haber me inculcado los valores que se requiere para ser un buen profesional.

**A mis hermanas, Miriam y Yuriana** por motivarme para lograr la conclusión de mis metas y apoyarme en mis decisiones que me propongo para mejorar continuamente.

**Jhon Linder Kancha guerra**

**A Dios** por darme las herramientas para poder lograr este objetivo con salud y bienestar

**A mi madre Wuanda**, por el apoyo incondicional, por inculcarme valores y alentarme en todo momento para llegar a cumplir mis sueños.

**Gerson Virgilio Delgado Farfán**

## **Agradecimiento**

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor de la tesis el ingeniero Porfirio Carrasco Tapia, que nos impartió todo su conocimiento en el desarrollo de este trabajo que realizamos, con su profesionalismo y dedicación hacía con nosotros absolviendo nuestras dudas que se originaban en el proceso de elaboración del trabajo de tesis.

A todos los integrantes de la plana docente de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica por habernos brindado todo el conocimiento necesario en nuestra formación académica durante nuestro periodo como estudiantes universitarios.

**GRACIAS**

## Presentación

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO

En cumplimiento al reglamento de grados y títulos vigentes de la facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica y de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, ponemos a vuestra disposición el trabajo de investigación intitulada: **“Lixiviación con Gold Max del oro de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin”**.

El propósito del presente proyecto de investigación es extraer el oro a partir de los relaves provenientes de la concentración de oro en canaletas de la compañía minera Galvin mediante el proceso de lixiviación con reactivo Gold Max.

Este trabajo estará a disposición de las personas que deseen tomarlo como guía o parte de esta situación

Delgado Farfán, Gerson Virgilio

Kancha Guerra, Jhon Linder

## Introducción

El oro es un metal muy valioso con tendencia de cotización relativamente alta y como consecuencia se ha visto la manera de recuperar o extraer este metal de los diferentes yacimientos auríferos a nivel mundial, no quedando ajeno el Perú gracias a sus diferentes tipos de yacimientos mineros auríferos esta actividad es muy realizada y beneficiosa en la economía, hoy en día existen muchas personas dedicadas a esta actividad en todo el Perú las cuales comúnmente recuperan el oro de manera artesanal e informal vulnerando la leyes del medio ambiente y teniendo porcentajes de extracción y recuperación de oro bajos debido al desconocimiento de nuevas tecnologías; de la misma manera se realiza en el yacimiento minero La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin ubicado en la región del Cusco, entre las provincias de Paucartambo y Quispicanchis, por sus distritos de Paucartambo y distrito de Ccarhuayo respectivamente, teniendo como consecuencia una recuperación muy baja en el rango de 50% - 60%, debido a que la partícula del oro se encuentra en tamaños menores a 50 micrones en mediana proporción, por este motivo se plantea el método de lixiviación con reactivo lixivante Gold Max el cual es un producto ecológico que reduce el impacto generado al medio ambiente y tiene buenos resultados en el proceso de lixiviación reemplazando de manera eficiente al lixivante tradicional que es el cianuro de sodio (NaCN), en nuestro trabajo dicho reactivo (Gold Max) cumple la función de disolver el metal valioso que está presente en el relave proveniente de la concentración de oro en canaletas, siendo el procedimiento a seguir análogo al proceso de lixiviación con Cianuro.

## Resumen

En la actualidad el proceso de lixiviación por agitación, es un método que nos permite obtener mayor porcentaje de extracción del oro presente en tamaños finos y muy finos con una mayor eficiencia al ser un método dinámico, este método consiste en disolver el metal valioso usando un agente lixivante en condiciones operativas establecidas con el objetivo de obtener una solución rica, dentro de nuestro trabajo de investigación el objetivo es extraer el oro del relave proveniente de la operación gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la Compañía Minera Galvin por el método de lixiviación usando el reactivo Gold Max, donde este cumple la función de disolver el metal valioso que está presente en el relave, es así que se toma una muestra de 150 kg de relave la cual por métodos de muestreo obtenemos representatividad en muestras de menor peso, sometiendo a una molienda por un tiempo de 10 minutos para tener una mayor liberación del orden del 52% malla -200, para evaluar las condiciones del mineral y considerar las variables más relevantes para dicho mineral siendo la concentración de reactivo Gold Max en el rango de 300-500 ppm, porcentaje de sólidos considerado entre 25%-30% y por último el tiempo en el rango de 24-36 h. Para poder realizar las pruebas en laboratorio tomamos el modelo factorial de  $2^3$  con 2 réplicas en el punto central, obteniendo 10 pruebas para la experimentación lixivando en botellas roladas con un volumen operativo de 1000 mL, donde el pH 11 es un parámetro fijo y las variables independientes ya mencionadas, teniendo como resultado diferentes valores para el porcentaje de extracción siendo el más favorable 92.37%, usando los siguientes valores en las variables independientes: tiempo de 36 h, 30% de sólidos y una concentración de reactivo Gold Max de 500 ppm, siendo estos valores alentadores ya que se puede decir que el oro del relave proveniente de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin se puede extraer por el método de lixiviación usando reactivo Gold Max con un alto porcentaje de extracción.

## Abstract

Currently, the agitation leaching process is a method that allows us to obtain a higher percentage of gold extraction present in fine and very fine sizes with greater efficiency as it is a dynamic method. This method consists of dissolving the valuable metal using a leaching agent under established operating conditions with the objective of obtaining a rich solution, within our research work the objective is to extract gold from the tailings from the gravimetric operation of the La Cumbre deposit of the Galvin Mining Company by the leaching method using the Gold Max reagent, where it fulfills the function of dissolving the valuable metal that is present in the tailings, so a sample of 150 kg of tailings is taken, which by sampling methods we obtain representativeness in samples of lesser weight, subjecting to a grinding for a time of 10 minutes to have a greater release of the order of 52% -200 mesh, to evaluate the conditions of the mineral and consider the most relevant variables for said mineral being the concentration of Gold Max reagent in the range of 300-500 ppm, percentage of solids considered between 25%-30% and finally the time in the range of 24-36 h . In order to carry out the tests in the laboratory, we took the factorial model of  $2^3$  with 2 replicates at the central point, obtaining 10 tests for experimentation leaching in rolled bottles with an operating volume of 1000 mL, where pH 11 is a fixed parameter and the aforementioned independent variables, resulting in different values for the extraction percentage, the most favorable being 92.37%, using the following values in the independent variables: 36 h time, 30% solids and a Gold Max reagent concentration of 500 ppm, these values being encouraging since it can be said that the gold from the tailings from the gravimetric concentration of the La Cumbre deposit of the Galvin mining company can be extracted by the leaching method using Gold Max reagent with a high extraction percentage

**Contenido**

<b>Dedicatoria</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>ii</b>
<b>Presentación</b>	<b>iii</b>
<b>Introducción</b>	<b>iv</b>
<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>Contenido</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Capítulo I</b>	<b>1</b>
<b>Problema de investigación</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b>	<b>1</b>
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problema específico	2
<b>1.3 Objetivos de la investigación</b>	<b>2</b>
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
<b>1.4 Justificación e importancia</b>	<b>3</b>
1.4.1 Tecnológica	3
1.4.2 Económica	3
1.4.3 Social	3



1.4.4 Ambiental	3
1.4.5 Importancia	3
<b>Capítulo II</b>	<b>4</b>
<b>Marco teórico</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Antecedentes</b>	<b>4</b>
2.1.1 Antecedentes locales	4
2.1.2 Antecedentes nacionales	5
2.1.3 Antecedentes internacionales	5
<b>2.2 El oro</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Propiedades del oro</b>	<b>6</b>
2.3.1 Propiedades físicas	6
2.3.2 Propiedades químicas	6
<b>2.4 Minerales auríferos</b>	<b>7</b>
<b>2.5 Relaves</b>	<b>7</b>
<b>2.6 Tecnologías de extracción y recuperación de minerales auríferos</b>	<b>8</b>
2.6.1 Concentración gravimétrica del oro	8
2.6.2 Amalgamación del oro	8
2.6.3 Cloración del oro	8
2.6.4 Cianuración del oro	9
<b>2.6.5 Teorías para la cianuración del oro</b>	<b>9</b>
2.7 Lixiviación	9
2.7.1 Métodos de lixiviación	10

2.7.2 Termodinámica de la cianuración	15
2.7.3 Cinética de la cianuración	16
<b>2.8 Lixiviación con reactivo Gold Max</b>	<b>20</b>
2.8.1. Características del reactivo Gold Max	21
2.8.2. Ventajas del reactivo Gold Max	22
<b>Capítulo III</b>	<b>24</b>
<b>Hipótesis y variables</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Hipótesis</b>	<b>24</b>
3.1.1 Hipótesis general	24
3.1.2 Hipótesis específicas	24
<b>3.2 Variables</b>	<b>24</b>
3.2.1 Variable dependiente	24
3.2.2 Variables independientes	24
3.2.3 Variable interviniente	24
<b>3.3 Indicadores</b>	<b>25</b>
<b>3.4. Operalización de variables.</b>	<b>26</b>
<b>Espectrómetro de Emisión Óptica</b>	<b>26</b>
<b>Capítulo IV</b>	<b>27</b>
<b>Metodología</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Ámbito de estudio: localización geográfica</b>	<b>27</b>
<b>4.2. Tipo y nivel de investigación</b>	<b>28</b>
4.2.1. Tipo de investigación	28

	x
4.2.2. Nivel de investigación	28
<b>4.3. Unidad de análisis</b>	<b>28</b>
<b>4.4. Población, selección de muestra y tamaño de muestra</b>	<b>28</b>
4.4.1. Población	28
4.4.2. Muestra	29
4.4.3. Selección de la muestra	29
<b>4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos</b>	<b>29</b>
<b>4.6. Equipos, materiales y reactivos</b>	<b>29</b>
4.6.1. Equipos	29
4.6.2. Materiales	30
4.6.3. Reactivos	30
<b>4.7. Procedimiento experimental</b>	<b>31</b>
4.7.1. Preparación mecánica del mineral	32
4.7.2. Tiempo de molienda	32
4.7.3. Parámetros operativos para el proceso de lixiviación.	32
4.7.4. Cálculo de peso de mineral y volumen de agua en pulpa.	33
4.7.5. Cálculo y preparación de reactivos	36
4.7.6. Reposición de reactivos	39
4.7.7 Variables del proceso de lixiviación	41
<b>Capítulo V</b>	<b>42</b>
<b>Resultados experimentales</b>	<b>42</b>
<b>5.1. Resultados del reporte del análisis químico de las soluciones PLS</b>	<b>42</b>

<b>5.2. Balance metalúrgico de las pruebas de lixiviación</b>	<b>42</b>
5.2.1. Balance metalúrgico para la muestra 1	43
5.2.2. Balance metalúrgico para la muestra 2	43
5.2.3. Balance metalúrgico para la muestra 3	44
5.2.4. Balance metalúrgico para la muestra 4	45
5.2.5. Balance metalúrgico para la muestra 5	46
5.2.6. Balance metalúrgico para la muestra 6	47
5.2.7. Balance metalúrgico para la muestra 7	47
5.2.8. Balance metalúrgico para la muestra 8	48
5.2.9. Balance metalúrgico para la muestra 9	49
5.2.10. Balance metalúrgico para la muestra 10	50
<b>5.3 Cinética de lixiviación</b>	<b>51</b>
<b>5.4 Diseño factorial</b>	<b>52</b>
<b>Discusión de resultados</b>	<b>59</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>61</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>63</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>64</b>
<b>Matriz de consistencia</b>	<b>67</b>
<b>Apéndice 1</b>	<b>68</b>
<b>Cuadros de parámetros operativos</b>	<b>68</b>
<b>Apéndice 2</b>	<b>72</b>
<b>Cuadros de control de muestras</b>	<b>72</b>
<b>Apéndice 3</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>75</b>

<b>Caracterización Mineragráfica</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>85</b>
<b>Resultados Análisis químico</b>	<b>85</b>

### Lista de tablas

Tabla 1 Propiedades físicas del oro.....	6
Tabla 2 Velocidad de disolución del oro delgado con distintos reactivos (g.cm <sup>2</sup> .h <sup>-1</sup> ) .	7
Tabla 3 Elementos nativos y naturales.....	7
Tabla 4 Componentes del reactivo Gold Max.....	21
Tabla 5 Parámetros de titulación.....	22
Tabla 6 Operalización de Variables .....	26
Tabla 7 Condiciones operacionales para el proceso .....	32
Tabla 8 variables operativas para la prueba de lixiviación (tiempo, concentración de reactivo y % solidos de pulpa) 1-10.....	33
Tabla 9 Balance pulpa prueba n°1 .....	35
Tabla 10 Condiciones operativas de las muestras para la prueba de lixiviación (mineral y agua).....	35
Tabla 11 Componentes iniciales para las pruebas de lixiviación.....	38
Tabla 12 variables del proceso de lixiviación.....	41
Tabla 13 Resultados de análisis químico de la solución PLS .....	42
Tabla 14 Balance metalúrgico de la prueba 1 .....	43
Tabla 15 Balance metalúrgico de la prueba 2 .....	44
Tabla 16 Balance metalúrgico de la prueba 3 .....	45
Tabla 17 Balance metalúrgico de la prueba 4 .....	46
Tabla 18 Balance metalúrgico de la prueba 5 .....	46

Tabla 19 Balance metalúrgico de la prueba 6 .....	47
Tabla 20 Balance metalúrgico de la prueba 7 .....	48
Tabla 21 Balance metalúrgico de la prueba 8 .....	49
Tabla 22 Balance metalúrgico de la prueba 9 .....	50
Tabla 23 Balance metalúrgico de la prueba 10 .....	51
Tabla 24 Resumen del porcentaje de extracción.....	51
Tabla 25 Extracción de oro de prueba 10 en un tiempo de 0 a 36 horas .....	52
Tabla 26 Diseño factorial del experimento $2^3$ con réplica en el punto central.....	53
Tabla 27 Matriz de experimentos del diseño factorial con variable respuesta .....	53
Tabla 28 Análisis de la varianza .....	54
Tabla 29 test de tukey .....	57

### **Lista de figuras**

Figura 1 Tanque Pachuca con columna centro completa .....	14
Figura 2 Diagrama de estabilidad potencial- pH para el sistema Au - H <sub>2</sub> O- CN .....	16
Figura 3 Ubicación geográfica .....	27
Figura 4 Diagrama de Pareto.....	55
Figura 5 efectos principales para extracción. ....	55
Figura 6 Diagrama de interacción para extracción.....	56
Figura 7 Diagrama de diseño factorial por método de cubo. ....	57
figura 8 grafica de efectos principales para extracción (%) .....	58



## **Capítulo I**

### **Problema de investigación**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

El yacimiento minero La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin ubicada en la región del Cusco, entre las provincias de Paucartambo y Quispicanchis, por sus distritos de Paucartambo y Ccarhuayo respectivamente, con las siguientes coordenadas UTM WGS84 zona 19S N: 8'511,905 E: 241,300, donde recuperan oro utilizando el método de concentración gravimétrico por canaletas de manera empírica y sin conocimientos técnicos de los procesos u operaciones que se deben seguir, realizan los siguientes pasos, primero reducen el tamaño del mineral con chancadoras de pequeña capacidad para alcanzar el tamaño adecuado (3/4”), posteriormente se realiza la molienda y finalmente concentran el oro mediante el método gravimétricos por canaletas sin embargo; por la presencia de oro en tamaño fino y muy fino la recuperación por este método es baja en el rango de 50% a 60% siendo el principal problema, por consecuencia una cantidad significativa de oro se encuentra presente en el relave de dicho método.

A consecuencia de la baja recuperación con el método gravimétrico, se plantea el uso de una nueva tecnología para la extracción del oro presente en el relave utilizando el método de lixiviación con el reactivo Gold Max, el cual permite extraer el oro del relave que se encuentra en tamaños finos y ultra finos, sin dañar al medio ambiente ni la salud de los trabajadores.

#### **1.2 Formulación del problema**

¿Se podrá extraer por lixiviación con Gold Max el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin?



### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo extraer el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin por lixiviación con Gold Max?

### **1.2.2 Problema específico**

- ¿Cuál será el tiempo óptimo de lixiviación con Gold Max para lograr la extracción de oro de los relaves de la concentración gravimétrica?
- ¿Cuál será el porcentaje de sólidos óptimo para la extracción de oro en el proceso de lixiviación con Gold Max de los relaves de la concentración gravimétrica?
- ¿Cuál será la concentración óptima de reactivo Gold Max para la extracción de oro en el proceso de lixiviación de los relaves de la concentración gravimétrica?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Extraer por lixiviación con Gold Max el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el tiempo de lixiviación con Gold Max para lograr la extracción de los relaves de la concentración gravimétrica.
- Determinar el porcentaje de sólidos óptimo para la extracción de oro en el proceso de lixiviación con Gold Max de los relaves de la concentración gravimétrica.
- Determinar la concentración de reactivo Gold Max óptimo para la extracción de oro en el proceso de lixiviación, de los relaves provenientes de la concentración gravimétrica.

## **1.4 Justificación e importancia**

### **1.4.1 Tecnológica**

Debido a que se tienen equipos, herramientas y personal calificado para poder desarrollar la nueva tecnología de lixiviación con Gold Max se justifica tecnológicamente.

### **1.4.2 Económica**

El ingreso económico aumentará para la compañía minera, generando ingresos adicionales ya que se extrae mayor cantidad de oro, de esta manera se puede justificar económicamente.

### **1.4.3 Social**

Se tiene una justificación social ya que ayudamos a los trabajadores a obtener mayores ingresos y a generar más trabajo debido a que es un proceso adicional y necesita mayor mano de obra.

### **1.4.4 Ambiental**

Es evitar la mala utilización de los recursos no renovables y reducir el impacto ambiental significativamente.

### **1.4.5 Importancia**

Es importante porque se extrae el oro que no se puede recuperar por concentración gravimétrica y de esta manera mejorar la utilización de los recursos.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### 2.1 Antecedentes

##### 2.1.1 Antecedentes locales

Orcoapaza (2019), “Evaluación de variables en la lixiviación por agitación con Gold Max para la extracción de oro del yacimiento de ayahuay – Apurímac” (Cusco - Perú). Se realizó con la finalidad de dar una nueva alternativa de procesamiento con tecnología limpia para los yacimientos auríferos de Ayahuay reduciendo el impacto ambiental. El objetivo primordial del trabajo de investigación es evaluar las variables del proceso de lixiviación con Gold Max, cuya hipótesis de la investigación es lograr la extracción mayor al 90% de oro; la metodología utilizada es cualitativa experimental de carácter descriptivo explicativo. En estas condiciones, el proceso nos ha permitido obtener una extracción de 96.16 % de Au, finalmente los parámetros obtenidos para mejorar el proceso de extracción fueron: Granulometría: 83.1 % pasante -200M, Concentración Gold Max: 0.025% y Tiempo: 40 h. Por último, se estableció el diseño experimental, con la finalidad de explicar las variables más significativas del proceso, se utilizó el software estadístico statgraphics, cuyo modelo matemático, es: % EXTRACCIÓN = -239.57 + 4.1592A + 7466.74B + 1.42069C - 111.092AB - 0.0188937AC - 44.7435BC + 1.0273ABC. Demostrando que la variable más influyente del proceso es la granulometría, seguida del tiempo e identificando la concentración de Gold Max es irrelevante.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Conza (2018), en su tesis titulado “Estudio de investigación para recuperar oro y plata con cianuro y Gold Max de los relaves de flotación” (Arequipa-Perú), donde tuvo como objetivo Extracción de oro y plata por cianuración y el lixiviante Gold Max de los relaves de flotación en la Compañía Minera Lincuna. Donde haciendo la remolienda de los concentrados en el proceso de cianuración como en la lixiviación con Gold Max las recuperaciones de oro son relativamente bajas llegándose a 12.77% con reactivo NaCN y en el caso de la plata llegó a 37.99% con reactivo Gold Max.

### **2.1.3 Antecedentes internacionales**

Valadez (2021), en su tesis titulado “Extracción de oro por lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la región de Tiquicheo, Michoacán.” (Morelia, México), donde su objetivo fue establecer un procedimiento de lixiviación sustentable, técnica y económicamente factible para disolver el oro contenido en los relaves de un mineral de cobre previamente procesado mediante lixiviación ácida, de la región de Tiquicheo, Michoacán. Asimismo, los resultados experimentales muestran que mediante lixiviación los dos reactivos disuelven el **oro** contenido en el mineral, aunque con el agente lixiviante NRW Dezo se reporta más oro a la solución preñada que con el lixiviante Gold Max. La eficiencia del Gold Max es más baja en alrededor del 20%, comparada con el reactivo NRW Dezo.

## **2.2 El oro**

El oro es un metal amarillo brillante por la luz reflejada, su símbolo es Au, es el metal más maleable y dúctil y muy apreciado por sus propiedades.

## 2.3 Propiedades del oro

### 2.3.1 Propiedades físicas

*Tabla 1 Propiedades físicas del oro*

Propiedad	Unidad	Valor
Número Atómico		79
Peso Atómico		197.2
Densidad a 20°C	g.cm <sup>-3</sup>	19.32
Punto de Fusión	°C	1064.4
Punto de Ebullición	°C	2808
Electronegatividad	eV	2.54
Radio Atómico	nm	0.1439
Volumen Atómico a 20°C	cm <sup>3</sup> .mol <sup>-1</sup>	10.21
Calor Específico	J.g <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0.138
Conductividad Térmica a 20°C	W.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	3.14
Resistividad Eléctrica a 20°C	Ω.cm	2.06*10 <sup>-6</sup>
Entalpía de Fusión	KJ.mol <sup>-1</sup>	12.77
Entalpía de Evaporación	KJ.mol <sup>-1</sup>	324.4
Estructura Cristalina		Fcc
Dureza (Escala de Mohs)		2.5
Límite de Elasticidad	MPa	55

FUENTE: Sancho, Verdeja, & Ballester (2000)

### 2.3.2 Propiedades químicas

Según la tabla periódica elaborada por Dmitri Mendeléyev, el oro se encuentra en el Grupo IB del Sistema Periódico con la configuración electrónica  $4f^{14}5d^{10}6s^1$ . Actúa con la valencia +1, y +3. Su potencial normal de reducción a 25°C, es 1.50V. Es el menos electronegativo de todos los metales debido a la gran estabilidad del único electrón periférico de su átomo.

Tabla 2 Velocidad de disolución del oro delgado con distintos reactivos (g.cm<sup>2</sup>.h<sup>-1</sup>)

Disolvente	°C				
	20	40	60	80	100
<b>Agua Regia 6M</b>	1.5	50	600	1700	3500
<b>HCL[6M] + Br<sub>2</sub>[0.2M]</b>	300	500	800	1000	1200
<b>HCL [6M] + Cl<sub>2</sub> (sat.)</b>	90	170	150	100	40
<b>HCL[6M] + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>[0.22M]</b>	6	14	20	35	50
<b>NaCN[1M] + Aire</b>	-	2.5	4	3	-
<b>NaCN[0.45M] + NaOH[0.2M] + Aire</b>	1	2	3	2.5	-
<b>NaCN[0.006M] + Ca(OH)<sub>2</sub>[0.04M]+Aire</b>	0.25	1.5	2.5	2	-

Fuente: Sancho, Verdeja, & Ballester (2000)

## 2.4 Minerales auríferos

Tabla 3 Elementos nativos y naturales

Oro	Au
Oro Argentífero (Electrum)	(Au,Ag)
Oro cuprífero (cuproaururo)	(Au,Cu)
Oro paladinífero (porpezita)	(Au,Rh)
Oro Irídico	(Au,Ir)
Oro Platinífero	(Au,Pt)
Oro Bismutífero	(Au,Bi)
Amalgama de Oro	Au <sub>2</sub> Hg <sub>3</sub>
Maldonita	Au <sub>2</sub> Bi
Auricupruro	AuCu <sub>3</sub>

Fuente: Franco J. (1991)

## 2.5 Relaves

Es un residuo también llamado cola, que se encuentra como pulpa siendo la mezcla de agua y partículas de mineral reducidos en tamaño que se considera con bajo contenido de metal valioso.

## **2.6 Tecnologías de extracción y recuperación de minerales auríferos**

### **2.6.1 Concentración gravimétrica del oro**

Según Franco J. (1991), un gran número de plantas de tratamiento de oro incorporan en su circuito esta tecnología de concentración para poder recuperar las partículas gruesas de los minerales auríferos liberados.

Hay muchos tipos de separadores gravimétricos para recuperar oro, que son: Jigs, trampas, mesas, etc. Después de la concentración gravimétrica se puede aplicar la amalgamación al producto llamado concentrado.

Se utiliza este método cuando el mineral tiene las siguientes características: el oro se encuentra como oro nativo, el tamaño del grano es grueso, la presencia de sulfuros es muy baja.

### **2.6.2 Amalgamación del oro**

Según Franco J. (1991), se aplica la amalgamación cuando el mineral tiene las siguientes características: en primer lugar, el oro se presenta como oro nativo, el tamaño de grano es grueso o ligeramente fino y el mineral de ganga que predomina es el cuarzo.

Ciertos minerales de ganga tales como sericita, talco, serpentina, arcilla, etc., que son adheridos por las superficies de mercurio y forman micropelículas durante el proceso de amalgamación, que impiden el buen contacto entre el oro libre y el mercurio

### **2.6.3 Cloración del oro**

Según Vargas G. (2015), este proceso se basa en la solubilidad del oro en una solución con cloro o iones de clorato, donde las condiciones del medio están disponibles para la extracción del oro de algunas clases de menas auríferas que no cumplen con las condiciones para la amalgamación o tratamiento económico por cianuración.

#### **2.6.4 Cianuración del oro**

Según Franco J. (1991), la cianuración se basa en el hecho de que el oro nativo es soluble en una débil y aireada solución de cianuro de sodio o potasio. Se aplica la cianuración cuando el mineral presenta las siguientes características: el oro se encuentra en minerales porosos, cuando el mineral no tiene presencia excesiva de sulfuros, carbonatos o algún mineral que dificulte la lixiviación con cianuro de potasio o sodio.

También la cianuración según Vargas G. (2015), es un proceso hidrometalúrgico de tratamiento de mineral que consiste en la disolución de metales preciosos en soluciones diluidas de cianuro de sodio, potasio o calcio, y para obtener un producto que se llama solución rica o PLS (pregnant leach solution), es decir solución cargada con el oro disuelto.

#### **2.6.5 Teorías para la cianuración del oro**

Las teorías para la cianuración son las siguientes, siendo la teoría de oxígeno de Elsner y del peróxido de hidrógeno de Bodlander las más usadas.

- Teoría del oxígeno de Elsner (1846)
- Teoría del peróxido de hidrógeno de Bodlander
- Teoría del hidrógeno de Janin (1888-1892)
- Teoría de cianógenos de Christy (1986)
- Teoría de la formación de cianatos por Mac Arthur (1905)
- Teoría de corrosión de B. Boonstra (1943)
- Evidencia cinética de Habashi (1966-1967)

#### **2.7 Lixiviación**

La lixiviación consiste en poner en contacto el mineral, ya sea previamente triturada y/o molida, con una solución que contiene un agente lixivante (Gold Max, NaCN u otros) como



un oxidante O<sub>2</sub>, suministrado por el aire que disuelve selectivamente el valor metálico contenido en el mineral.

### **2.7.1 Métodos de lixiviación**

#### **2.7.1.1 Método de cianuración in – situ**

Según Haung P. y Twidwel P. (1996), la cianuración IN-SITU comprende la lixiviación del mineral fracturado en el terreno como se encuentra. El mineral puede ser el residuo de roca astillado dejado en la mina después que ha sido explotado o el cuerpo de mineral fragmentado que no puede ser tratado económicamente por métodos de minería convencionales. Elimina el minado y el manipuleo de grandes toneladas de materiales.

Dependiendo de la zona a cianurar, que puede ser subterránea o superficial, se distinguen tres tipos de cianuración In Situ:

- Cianuración de pilas o carga mineralizada fracturada que se encuentra cerca de la superficie o por encima del nivel del agua subterránea.
- Cianuración aplicada a cargas mineralizadas situadas a cierta profundidad por debajo del nivel del agua subterránea, entre 300 y 500 metros de profundidad.
- Cianuración aplicada a cargas mineralizadas a una profundidad mayor a 500 metros, muy por debajo de las aguas subterránea,

#### **2.7.1.3 Método de cianuración tipo dump leaching**

Según Haung P. y Twidwel P. (1996), es usada para extraer valores metálicos de materiales tal como salen de la mina conteniendo valores metálicos menores que el grado crítico. La materia prima es usualmente el desecho generado durante la operación de minado a tajo abierto a gran escala.

Este método consiste en apilar el mineral saliente de la mina hasta una altura de más de 80 metros, su sistema de riego es por goteo o aspersion con la solución lixivante con bajas concentraciones de cianuro donde las soluciones percolan a través de la pila por acción de la gravedad, los minerales tratados por este método tienen contenidos bajos de oro, alrededor de 1g por tonelada de mineral y requieren de mucho tiempo para extraer todo el metal y obtener la solución “rica”

Entre las razones del porque su bajo rendimiento de este método está:

- Gran tamaño de algunas rocas (> 1m).
- Baja penetración del aire al botadero.
- Compactación de la superficie con maquina pesada.
- Baja permeabilidad del lecho y formación de precipitados como el yeso.

#### **2.7.1.4 Método de cianuración tipo heap leaching**

Según Haung P. y Twidwel P. (1996), este método de la misma manera al anterior, se apila el mineral proveniente de la explotación a tajo abierto o subterráneo y ya no del desecho de minado, este material debe ser ligeramente preparado en una planta de chancado y aglomeración para conseguir una granulometría adecuada y mediante un sistema de riego ya sea por goteo, aspersion o tipo ducha. Tras percollar la solución lixivante a través de toda la pila se recolectan los líquidos enriquecidos con el metal valiosos y se lleva a una planta de recuperación. En algunos casos las soluciones sobrantes del proceso son acondicionadas para volver a utilizarlas en la cianuración de las pilas y así recircular las soluciones.

#### **2.7.1.5 Método de cianuración tipo vat leaching**

Según Haung P. y Twidwel P. (1996), en este método el mineral se encuentra en un recipiente tipo batea hecho de concreto, entonces el apilamiento del mineral se realiza dentro de este recipiente en las que se agrega la solución lixivante por sistemas de riego hasta que se

inunde la batea o estanque, el material debe de estar previamente molido y aglomerado, este método es preferible cuando el mineral no es poroso. Donde la ley del mineral debe justificar económicamente la molienda, es decir el mineral debe presentar contenidos metálicos altos.

#### **2.7.1.6 Lixiviación por agitación**

Según Tecsup en el libro Hidrometalurgia del oro (2020), la lixiviación por agitación tiene una variación en tiempo de 0 a 48 horas aproximadamente, las razones de esta alta velocidad de disolución del oro se deben a lo siguiente, el tamaño de la partícula (pequeña) que confiere una alta superficie específica, como resultado de la alta agitación, el espesor de la capa límite es mínimo y por lo tanto la velocidad de la disolución se incrementa.

Para la aplicación de la lixiviación por agitación se requiere entonces que el mineral este finamente molido, por esto se aplica solamente a minerales frescos de altas leyes, que por el mayor valor de contenido metálico justifican una molienda, a cambio de una mayor recuperación y de un menor tiempo, por sus menores volúmenes permiten justificar el gasto de una agitación, que en algunos casos puede ser prolongada.

la agitación puede realizarse de dos formas:

#### **Agitación Neumática.**

Según Vargas G. (2015), se realiza a escala comercial y se emplean los tanques Pachuca los cuales mantienen la pulpa con una circulación ascendente y descendente mejorando la lixiviación del mineral.

Una técnica común es inyectar aire por el vértice del cono del tanque de manera que la pulpa suba a través del tubo hasta la salida y retorna hacia abajo por el espacio anular externo.

En la industria metalúrgica los reactores tipo Pachuca con tres fases se han empleado para el ataque y lixiviación de menas de oro, uranio, cobre, cinc y otros metales no férricos beneficiados por vía hidrometalurgia.

**Ventajas:**

Según Vargas G. (2015),

- El reactor es de un diseño extremadamente simple y no tiene partes móviles.
- Son menos costosas para operar y tienen menos problemas de operación y mantenimiento en comparación con los tanques que se emplean agitación mecánica.
- La extracción de metal precioso puede alcanzar el 97%.

**Desventajas:**

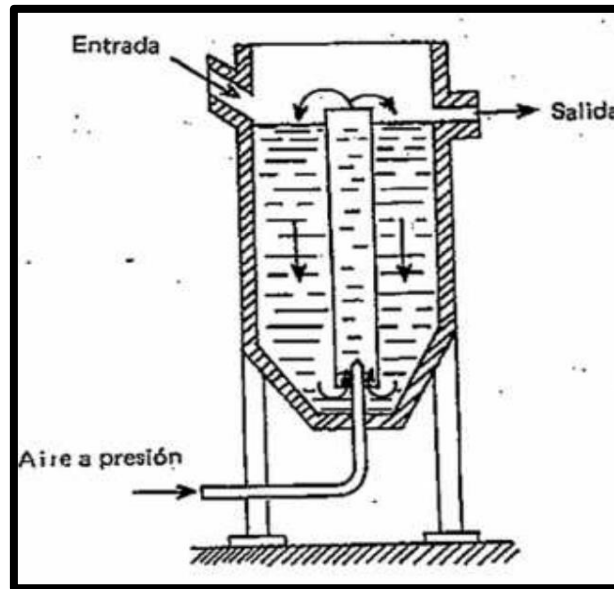
Según Vargas G. (2015),

- Se requiere de una molienda más fina a malla 200-400 (75mm – 38mm) para lograr una agitación adecuada.
- Se aplica a minerales de leyes altas, que justifican la molienda.

**Cumple con el objetivo:**

Según Vargas G. (2015), debe mantener una suspensión de sólidos en líquidos, que no permita al sólido a sedimentar acumulativamente y así mismo que la pulpa contenida en el tanque esté aireada, podemos ver en la figura 1.

Figura 1 Tanque Pachuca con columna centro completa



Fuente: Vargas G. (2015).

### **Agitación mecánica**

Según Tecsup en el libro Hidrometalurgia del oro (2020), son los equipos más usados, se ha llegado a un estudio tan profundo en la que aplicando las leyes de la mecánica se logra minimizar el consumo energético, rediseñando los impellers de los agitadores.

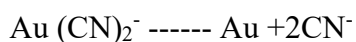
En los agitadores mecánicos las partículas se encuentran suspendidas debido a que el agitador mecánico cuenta con un impulsor o rotor. El tanque está construido de concreto, acero, madera o revestidos interiormente con material anticorrosivo. La agitación mecánica produce un impulso generado por la rotación del impulsor a través de un eje vertical. Los rotores se dividen en dos tipos según el ángulo que forma la hoja del rotor, con el eje del mezclador: primero tenemos los rotores de flujo axial que comprenden todos los rotores en que la hoja forme un ángulo menor que  $90^\circ$  con el eje del mezclador. En segundo lugar, tenemos los rotores de flujo radial tienen hojas paralelas como al eje del agitador.

### 2.7.2 Termodinámica de la cianuración

Teniendo en consideración que el proceso de lixiviación con cianuro es un proceso análogo a la lixiviación con Gold Max, y producto del desconocimiento de la composición completa del reactivo por ser una fórmula patentada se usa la termodinámica de la cianuración como base teórica para explicar el efecto del reactivo Gold Max sobre el metal valioso siendo esta la siguiente.

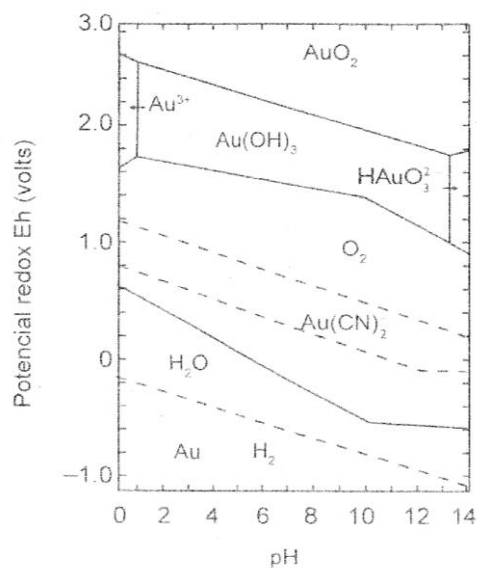
Según Misari Chuquipoma (2010), la termodinámica en condiciones establecidas del proceso, nos indica una posibilidad de reacciones que pueden o no ocurrir. Para comprobar los mecanismos físico químicos de la cianuración del oro, debemos tener en cuenta primordialmente sus propiedades termodinámicas, sus respectivos estados estables y meta estables que son representados en los diagramas de Pourbaix que relacionan el potencial de óxido-reducción (Eh) del metal con el pH del medio mostrados en la figura 2.

En el diagrama Au-H<sub>2</sub>O-CN, no obstante, la reacción:



Dicha reacción sucede en la zona anódica dentro de los límites de estabilidad del agua, donde la zona de estabilidad del complejo aurocianuro donde se puede apreciar una recta horizontal entre pH 10 y 14 y un potencial redox aproximado de -0.5 volts donde se da la reacción de lixiviación por formación de aurocianuros.

Figura 2 Diagrama de estabilidad potencial- pH para el sistema Au - H<sub>2</sub>O- CN



Fuente: Misari Chuquipoma (2010)

### 2.7.3 Cinética de la cianuración

Teniendo en consideración que el proceso de lixiviación con cianuro es un proceso análogo a la lixiviación con Gold Max, y producto del desconocimiento de la composición completa del reactivo por ser una fórmula patentada se usa la cinética de la cianuración como base teórica para explicar el efecto del reactivo Gold Max sobre el metal valioso siendo esta la siguiente.

Según Misari Chuquipoma (2010), la cinética que ocurre en la cianuración nos explica que la velocidad de disolución de los metales preciosos, así como el tiempo en el cual se lleva a cabo la reacción es, la etapa de menor velocidad (llamada etapa controlante) es importante identificar a esta para incrementar su rapidez.

En una reacción fisicoquímica con interacción entre la fase sólida y líquida, se presentan 5 etapas:

- Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interface sólido-líquido.
- Adsorción de los reactantes en la superficie de la partícula sólida.
- Reacción en la superficie de la partícula.

- Desorción de los productos de la reacción de la superficie de la partícula sólida.
- Difusión de estos productos solubles de la interface sólido-líquido a la solución.

Según Misari Chuquipoma (2010), el tiempo que se emplean en las etapas 1 y 5 es controlado por las velocidades de difusión, las etapas 2,3 y 4 es función de la rapidez de los procesos químicos. Entonces si la difusión es lenta, es necesario una mayor agitación para acelerar la reacción, en cambio si la reacción es retardada por los procesos químicos es necesario incrementar la temperatura para aumentar la velocidad de difusión.

La cianuración está gobernada por las leyes de Fick, (ecu.1)

$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$	(ecu. 1.)
--	-----------

Dónde:

**J:** Flujo de material a través de un plano de referencia. moles/ s.cm<sup>2</sup>

**C:** Concentración de la especie disuelta moles/ cm<sup>3</sup>

**X:** Coordenada de posición (medida perpendicularmente al plano de referencia).

**D:** Coeficiente de difusión de la especie considerada en solución acuosa (10-6 cm<sup>2</sup>/s).

Según Misari Chuquipoma (2010), en el proceso de cianuración la ley de Fick se desarrolla como se muestra en la (ecu.2) y (ecu.3):

$\frac{d(O_2)}{dt} = D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} \{[O_2] - [O_2]_s\}$	(ecu.2.)
$\frac{d(CN^-)}{dt} = D_{CN^-} \frac{A_2}{\delta} \{[CN^-] - [CN^-]_s\}$	(ecu.3.)



Dónde:

$\frac{d(O_2)}{dt}$  Y  $\frac{d(CN^-)}{dt}$  = Son las velocidades de difusión de  $O_2$  y  $CN^-$ , respectivamente, expresadas en moles.

$D_{O_2}$  Y  $D_{CN^-}$  = Son los coeficientes de difusión en  $cm^2/s$ .

$A_1$  Y  $A_2$  = Son las superficies anódicas y catódicas sobre las cuales se lleva a cabo la reacción, ambas medidas en  $cm^2$ .

$\delta$  = Ancho de la capa límite de Nernst, cm.

$[O_2]$  Y  $[CN^-]$  = Concentración de oxígeno o cianuro en la solución, en moles/mL.

$[O_2]_s$  Y  $[CN^-]_s$  = Concentraciones sobre la superficie de reacción.

Si en las dos anteriores ecuaciones se considera que la reacción química es muy rápida, se tiene  $[O_2]_s = [CN^-]_s = 0$ . Si se acepta, asimismo, que la velocidad de disolución del metal es dos veces la del oxígeno y solo la mitad de la del cianuro, se obtiene la (ecu.4).

$2D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} [O_2] = \frac{1}{2} D_{CN^-} \frac{A_2}{\delta} [CN^-]$	(ecu.4.)
--	----------

Según Misari Chuquipoma (2010), se debe tener en cuenta que el área total es  $A=A_1+A_2$ , resolviendo el sistema de ecuaciones, se deduce que la velocidad de cianuración es como se muestra en la ecuación (ecu.5).

$V = \frac{2AD_{CN^-} D_{O_2} [CN^-][O_2]}{\delta\{D_{CN^-}\}[CN^-] + 4D_{O_2}[O_2]}$	(ecu.5.)
---	----------

Después de obtener esta ecuación, se debe considerar dos posibilidades. Cuando las concentraciones de cianuro son bajas, el primer término del denominador es despreciable respecto del segundo, con lo cual de (ecu.5) desarrollándola resulta de la siguiente manera:

$V = \frac{1}{2} D_{CN^-} \frac{A_2}{\delta} [CN^-]$	(ecu.6.)
$V = k_1 [CN^-]$	(ecu.7.)

Por lo tanto, en estas condiciones la velocidad de cianuración se encuentra en función de la concentración del cianuro como se ve en la (ecu.7), en el caso de que las concentraciones de cianuro sean altas en la (ecu.5), el segundo término del denominador es despreciable respecto al primero, por lo que resulta como se muestra en la (ecu.8).

$V = 2D_{O_2} \frac{A}{\delta} [O_2]$	(ecu.8.)
$V = k_2 [O_2]$	(ecu.9.)

Según Misari Chuquipoma (2010), esto indica que, a mayor concentración de cianuro, la velocidad de disolución depende solamente de la concentración de oxígeno, comprobándose de manera experimental esta teoría.

Para hallar el límite en el cual una de las concentraciones cede el paso al de la otra concentración en el control de la velocidad de cianuración, se debe volver a la ecuación general (ecu.1).

La (ecu.10) se cumple cuando las concentraciones de cianuro son altas como se indica en la (ecu.8), obteniendo la siguiente ecuación.

$D_{CN^-} [CN^-] = 4D_{O_2} [O_2]$	(ecu.10.)
------------------------------------	-----------

O lo que es lo mismo

$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = 4 \frac{D_{O_2}}{D_{CN^-}}$	(ecu.11.)
---	-----------

Y se asume que  $D_{O_2}/D_{CN^-}=1.5$ , debido a que el coeficiente de difusión de las especies consideradas en solución acuosa en  $cm^2/s$  para el  $O_2$  es  $2.76E-09$  y para el  $CN^-$  es  $1.83E-09$ , entonces reemplazamos y así se determina que el límite referido que se puede ver en la (ecu.12) con un valor de 6 teóricamente se alcanza con dicho valor:

$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = 6$	(ecu.12.)
----------------------------	-----------

En laboratorio varían de 4.6 a 7.4, por lo que el valor obtenido por cálculo teórico sólo es representativo.

## 2.8 Lixiviación con reactivo Gold Max

Según Royal Chemical Perú (2016), la lixiviación con Gold Max es una nueva alternativa frente a la cianuración debido a que es un reactivo que lixivía al oro de manera selectiva con resultados alentadores, además que no contiene componentes dañinos con gran impacto sobre el medio.

Para cumplir con estándares se viene trabajando en alternativas más sostenibles, por lo que se tiene una alternativa que es el lixivante Gold Max, un producto ecológico que permite la disolución del oro que tiene el potencial de reemplazar al lixivante tradicional que es el cianuro de sodio (NaCN).

Este novedoso producto, que es desarrollado y producido por Royal Chemical del Perú, está en la tendencia a darnos más ventajas operativas y ambientales a comparación de otros productos en el mercado actualmente.

El Gold Max es un reactivo utilizado de manera análoga a la lixiviación con cianuro debido a que los principios son semejantes lo que permite usarlo como lixivante del mineral valioso en procesos u operaciones metalúrgicas.

### 2.8.1. Características del reactivo Gold Max

Según Royal Chemical Perú (2016), es un producto altamente estable y puede almacenarse largos periodos de tiempo sin sufrir efecto de descomposición siempre que se le proteja de los fenómenos atmosféricos.

Este reactivo, no está sujeto a fiscalización, ni control de ninguna índole, ante algún control policial y SUNAT el procedimiento es como se aplica a cualquier químico común y corriente. Lo que no ocurre con productos fiscalizados o controlados como el NaCN, que sí está sujeto a controles lo que facilita el uso en el proceso de lixiviación, en la tabla 4 podemos ver algunos componentes del reactivo.

*Tabla 4 Componentes del reactivo Gold Max*

Nombre de los componentes	Fórmula	Nº CAS (Chemical Abstract Service)	Porcentaje por Peso (%)
Óxido 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
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:** Royal Chemical Perú (2016)

El proceso de titulación se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros que podemos ver en la tabla 5.

Tabla 5 Parámetros de titulación

Cantidad de alícuota a utilizar	25mL
Titulante a utilizar	Nitrato de plata
Concentración de titulante	4.33 g/L
Indicador a utilizar	Ioduro de potasio
Concentración de indicador	5%

**Fuente:** Royal Chemical Perú (2016)

Según Royal Chemical Perú (2016), el proceso de titulación de Gold Max, debe de ser el siguiente:

1. Una vez listo y colocado todas las soluciones en su lugar, se procede a dejar pasar la solución de nitrato de plata hacia el matraz, el cual se deberá cerrar cuando la mezcla cambie de color a un tono amarillo lechoso.
2. Se anota el gasto del nitrato de plata el cual servirá de base para completar el cuadro de reposición parcial del lixivante.
3. Ahora para la reposición del lixivante -Gold Max en los tanques se procede a reponer lo utilizado en la titulación y el reactivo lixivante que se había consumido.

### 2.8.2. Ventajas del reactivo Gold Max

- Ecológico y de baja toxicidad.

Producto químico ordinario, no inflamable, no explosivo, no oxidante, no radiactivo, menos tóxico, ecológico y seguro.

Según Royal Chemical Perú (2016), el relave del proceso de lixiviación con Gold Max contiene urea y fosfatos, elementos amigables con el medio ambiente.

- Amplia aplicabilidad.

Según Royal Chemical Perú (2016), el Gold Max puede aplicarse a todo tipo de mineral sin distinción, ya sean óxidos, sulfuros y en material mixto. Se ha realizado 377 pruebas con el reactivo demostrando su eficiencia para la extracción de oro en condiciones adversas y en tiempos más cortos.

- Rendimiento estable.
- Alta tasa de lixiviación.
- Menores tiempos de lixiviación.
- Bajo costo.
- Transporte.

El proceso y los equipos son los mismos que en la cianuración, a diferencia que es más fácil de usar y promover.

Según Royal Chemical Perú (2016), al no ser un producto tóxico de alta peligrosidad, Gold Max es de libre adquisición y puede ser transportado de forma sencilla porque no está sujeto a ningún control, fiscalización, permiso, ni requiere el uso de un transporte especial.

## Capítulo III

### Hipótesis y variables

#### 3.1 Hipótesis

##### 3.1.1 Hipótesis general

Si se puede extraer por lixiviación con Gold Max el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin.

##### 3.1.2 Hipótesis específicas

- A mayor tiempo de lixiviación de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La cumbre incrementa el porcentaje de extracción.
- El porcentaje de sólidos óptimo para lixiviar los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La cumbre es de 30%.
- La concentración óptima del reactivo Gold Max para lixiviar los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La cumbre es de 500 ppm.

#### 3.2 Variables

##### 3.2.1 Variable dependiente

- Porcentaje de extracción del oro.

##### 3.2.2 Variables independientes

- Tiempo de lixiviación.
- Porcentaje de sólidos de la pulpa.
- Concentración de reactivo Gold Max.

##### 3.2.3 Variable interviniente

- Presión atmosférica.
- Características del mineral.

- Temperatura del medio ambiente

### **3.3 Indicadores**

- Tiempo de lixiviación (h)
- Porcentaje de sólidos en pulpa (%)
- Concentración de reactivo Gold Max (ppm)



### 3.4. Operalización de variables.

Tabla 6 Operalización de Variables

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Unidad	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Porcentaje de extracción de oro	Dependiente	Es la fracción de oro presente en la solución rica, en relación al oro presente en mineral, multiplicado por 100 para ser porcentaje.	Cuantificar porcentualmente el oro diluido en el proceso de lixiviación por agitación en balances metalúrgicos.	<b>0 a 100</b>	<b>%</b>	Presencia de oro disuelto dentro de la solución PLS	Fire Assay, (ensayos al fuego)  Espectrómetro de Emisión Óptica
Concentración de Gold Max	Independiente	Cantidad como se encuentra las sustancias que se disuelven el (soluto) en relación a las sustancias que lo disuelven (solvente).	Determinar la cantidad de Gold Max que se encuentra disuelto en cierta cantidad de solución acuosa.	<b>300 a 500</b>	<b>ppm</b>	Concentración del reactivo Gold Max que se requiere en una solución lixivante	Fórmula partes por millón y formula de concentración  Balanza analítica.
Tiempo de lixiviación	Independiente	Magnitud física que nos permite ordenar la duración de las cosas.	Medición del periodo de tiempo en el cual se realiza un proceso de lixiviación de una forma más óptima.	<b>24 a 36</b>	<b>horas</b>	Cantidad de oro extraído en función del tiempo	Control por periodos de tiempo  Cronometro
Porcentaje de sólidos	Independiente	Proporción de la masa sólida que se encuentra en una muestra líquida.	Determinar la proporción más adecuada de mineral en función de una solución lixivante para una correcta operación.	<b>25 a 30</b>	<b>%</b>	Proporción más adecuada de mineral en función de una solución lixivante para un proceso óptimo	Ecuación matemática.  Balanza Marcy

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo IV

### Metodología

#### 4.1. Ámbito de estudio: localización geográfica

El yacimiento La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin se encuentra ubicado en el departamento de Cusco, delimitado entre las provincias de Paucartambo y Quispicanchis, por sus distritos de Paucartambo y distrito de Ccarhuayo respectivamente, teniendo las siguientes coordenadas UTM WGS84 zona 19S N: 8'511,905 E: 241,300

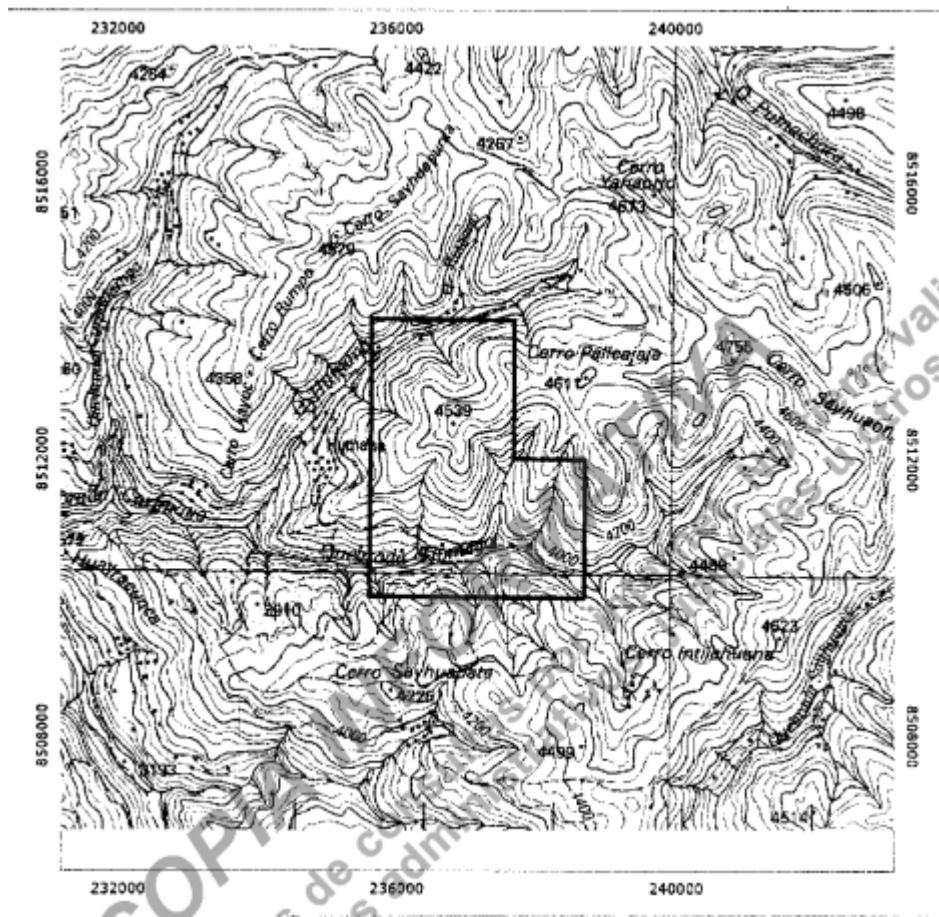


Figura 3 Ubicación geográfica

Fuente: (DREM, 2022)

## **4.2. Tipo y nivel de investigación**

### **4.2.1. Tipo de investigación**

Tenemos en cuenta que para evaluar el porcentaje de extracción de oro en el proceso de lixiviación donde el reactivo lixivante es el Gold Max se hace una investigación de tipo experimental, también el presente estudio reúne condiciones para ser una investigación aplicada ya que se utilizarán conocimientos de ingeniería metalúrgica para aplicarlos al momento de realizar la parte experimental.

### **4.2.2. Nivel de investigación**

Los utilizados son tres, el descriptivo, el explicativo y predictivo debido a que se hace una descripción de todo el proceso hasta obtener el PLS donde se encuentra el oro disuelto, también explicamos las relaciones entre las variables y predictivamente realizando un análisis de datos teniendo un pronóstico matemático.

## **4.3. Unidad de análisis**

La unidad de análisis que vamos a evaluar es el porcentaje de extracción del oro, teniendo en cuenta la concentración del reactivo Gold Max, los efectos según el tiempo de lixiviación y el porcentaje de sólidos de la pulpa, todo esto será evaluado de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin.

## **4.4. Población, selección de muestra y tamaño de muestra**

### **4.4.1. Población**

La población que tomamos para la investigación son los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin, ubicado en el departamento de Cusco, delimitado entre las provincias de Paucartambo y Quispicanchis, por sus distritos de Paucartambo y distrito de Ccarhuayo respectivamente.

#### **4.4.2. Muestra**

Se tomó una muestra del yacimiento La Cumbre para realizar el trabajo de investigación con el fin de análisis y evaluación experimental, la cual fue de 100 kg, para posterior muestreo de 25 kg, constituidas por 10 muestras de 2.5 kg de relaves de la concentración gravimétrica.

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

Para la selección de muestra de la cancha de relaves del yacimiento La Cumbre se realizó el muestreo con un muestreador de relaves de forma cilíndrica usando el método de sistemático para poder seleccionar la muestra obteniendo 100 kg de relave, posteriormente se realizó el secado del relave a temperatura ambiente para luego hacer el método de cono y cuarteo para reducir el tamaño de la muestra a 25 kg, para posteriormente realizar el muestreo con el cuarteador de rifles y obtener 10 muestras de 2.5 kg..

### **4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Se aplican técnicas de muestreo por particiones para canchas de relave utilizando muestreador cilíndrico de relaves, posteriormente utilizar el método de cono y cuarteo, el cuarteador de rifles, también se usaron fichas de recolección de datos, uso de software Minitab y Excel.

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

#### **4.6.1. Equipos**

- Molino de bolas de laboratorio (13"x8").
- ROTAP (model b, Tyler).
- Balanza electrónica Sartorius.
- Cocina eléctrica.
- pH metro electrónico.

- Equipos de protección personal (EPP).
- Laptop.
- Cámara fotográfica.

#### **4.6.2. Materiales**

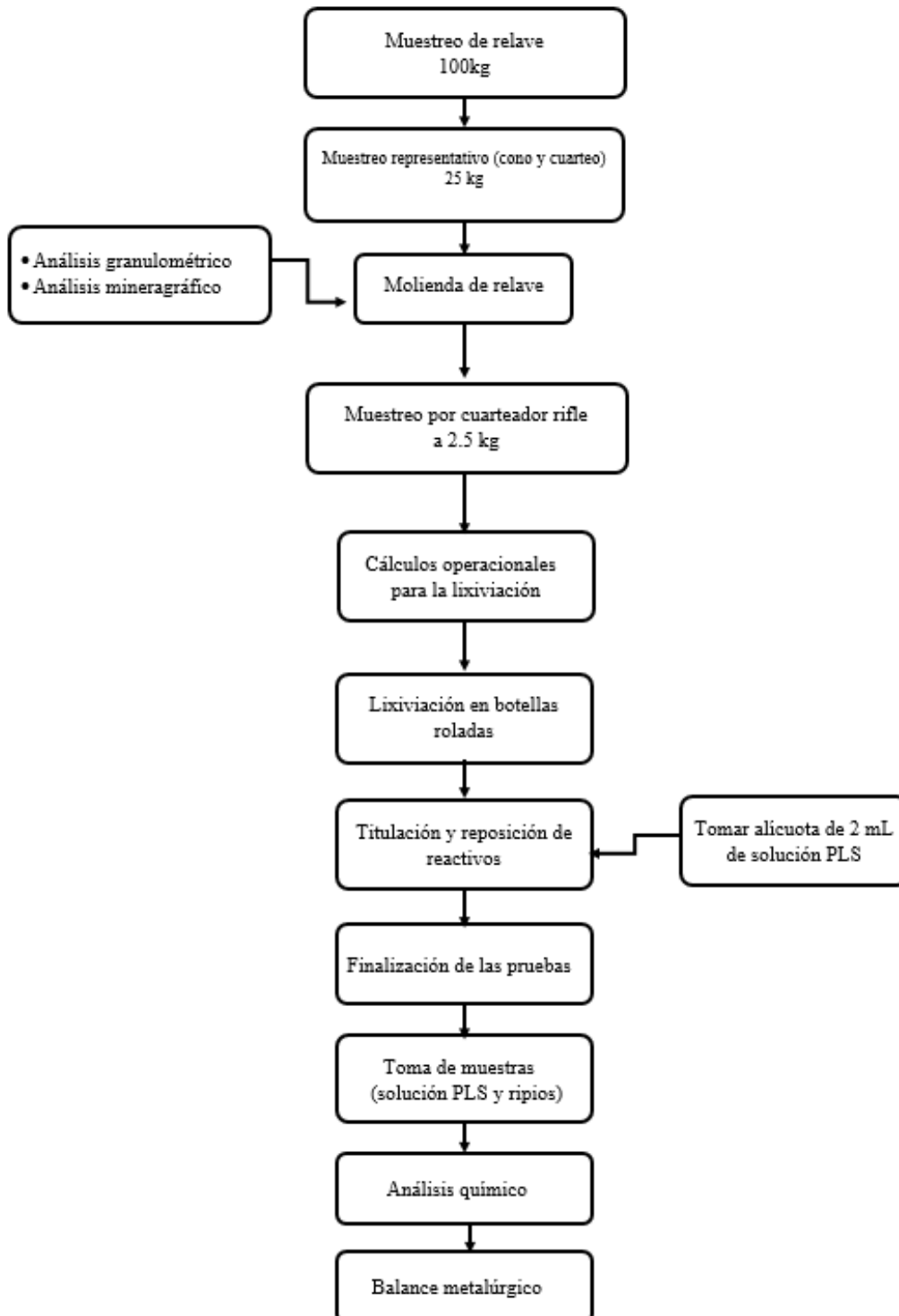
- Tamiz de la serie A.S.T.M.
- Brochas.
- Espátulas.
- Bolsas SIPLOP.
- Papel filtro.
- Recipientes con tapa para muestras de solución PLS.
- Pipetas.
- Bureta.
- Bayeta.
- Probetas.
- Plumones indelebles.
- Fichas de control.
- Equipo de protección personal (EPP).

#### **4.6.3. Reactivos**

- Nitrato de plata
- Yoduro de potasio
- Lixivante Gold Max
- Cal.

#### 4.7. Procedimiento experimental

La parte experimental del trabajo de investigación se llevó a cabo en función del siguiente diagrama de flujo:



#### 4.7.1. Preparación mecánica del mineral

El relave tuvo una preparación mecánica previa, por lo cual se realizó un análisis granulométrico teniendo 33% retenida malla 65, 45% retenida malla 100, 7% retenida malla 200 y 15% pasante malla 200. Dichos valores nos dieron un panorama de la granulometría por lo que se realizó una posterior remolienda al relave de la concentración gravimétrica.

#### 4.7.2. Tiempo de molienda

Se realizó una molienda con un periodo de tiempo corto al ser material molido previamente a la concentración gravimétrica y tener solo 15 % de pasante malla 200 (74 micrones) tomando en cuenta que practicar esto produce un costo adicional se tuvo en consideración se realizó solo por un periodo de tiempo de 10 minutos lo que vimos lo más a adecuado para este material al tener gran presencia de cuarzo y pirita, alcanzar una mayor liberación para las pruebas del proceso de lixiviación obteniendo una liberación y obteniendo 52 % pasante malla 200.

#### 4.7.3. Parámetros operativos para el proceso de lixiviación.

Para comenzar con las pruebas de lixiviación debemos de tener en cuenta los parámetros operativos a los cuales vamos a trabajar las muestras en el proceso de lixiviación con el reactivo Gold Max, las cuales podemos apreciar en la tabla 7:

*Tabla 7 Condiciones operacionales para el proceso*

<b>Parámetros operativos</b>
● Granulometría: 52% - 200 Mallas
● pH: 11
● Velocidad de agitación: 35 rpm
● % de sólidos: 25-30
● Tiempo de agitación (horas): 24 – 36
● Concentración del reactivo (ppm): 300 -500

**Fuente:** Elaboración propia

Ahora tenemos las combinaciones de las variables a estudiar en este proyecto de investigación se puede observar en la tabla 13 donde vemos la cantidad de pruebas y cada una con sus respectivos parámetros operativos en tiempo, concentración de Gold Max y % de sólidos:

*Tabla 8 variables operativas para la prueba de lixiviación (tiempo, concentración de reactivo y % solidos de pulpa) 1-10.*

<b>Pruebas</b>	<b>Tiempo(h)</b>	<b>Concentración (ppm)</b>	<b>%solidos</b>
M1	36	300	25.0
M2	24	500	25.0
M3	24	300	30.0
M4	24	300	25.0
M5	24	500	30.0
M6	30	400	27.5
M7	36	500	25.0
M8	36	300	30.0
M9	30	400	27.5
M10	36	500	30.0

**Fuente:** Elaboración propia

Los datos mostrados en la tabla 8 son combinaciones que obtuvimos del tipo de experimentación que vamos a realizar en nuestro trabajo de investigación del software Minitab.

#### **4.7.4. Cálculo de peso de mineral y volumen de agua en pulpa.**

Es un procedimiento matemático en el cual se obtiene las proporciones de mineral y solución lixivante empleadas en el proceso de lixiviación para obtener una pulpa según el porcentaje de sólidos que debamos utilizar, se tomó como muestra para los cálculos de peso de mineral y volumen de agua la muestra 1 y se puede observar los resultados en la tabla 9, donde las siguientes condiciones operativas para la prueba número 1 son:



- Volumen del Reactor al 100%: 1250 mL.
- Volumen del Reactor al 80%: 1000 mL.
- G.E: 2.5 g/cc
- Porcentaje de sólidos: 25 %
- Tiempo: 36 horas
- Concentración: 300 ppm

Donde tenemos las siguientes ecuaciones matemáticas:

- Volumen de mineral =  $\frac{\text{Porcentaje de sólidos}}{G.E.}$

$$\text{Volumen de mineral} = \frac{25}{2.5} = 10 \text{ mL}$$

- Volumen de pulpa = vol. agua + vol. Mineral

$$\text{Volumen de pulpa} = 75 + 10 = 85 \text{ mL}$$

- Vol. Agua (para 1000 mL de pulpa) =  $\frac{1000 * \text{vol. agua}}{\text{vol. pulpa}}$

$$\text{Vol. Agua (para 1000 mL de pulpa)} = \frac{1000 * 75}{85} = 882.35 \text{ mL}$$

- Volumen de mineral (para 1000 mL de pulpa) = 1000 – Vol. Agua (para 1000 mL de pulpa)

$$\text{Volumen de mineral (para 1000 mL de pulpa)} = 1000 - 882.35 = 117.65 \text{ mL}$$

- Peso de mineral (para 1000 mL de pulpa) =  $\frac{25 * 117.65}{10} = 294.12 \text{ g}$

- Peso de la pulpa (para 1000 mL de pulpa) = Peso de mineral (para 1000 mL de pulpa) + Peso de agua (para 1000 mL de pulpa)

$$\text{Peso de la pulpa (para 1000 mL de pulpa)} = 294.12 + 882,35 = 1176.47 \text{ g}$$

*Tabla 9 Balance pulpa prueba n°1*

	Peso(g)	Volumen(mL)	Peso(g)	Volumen(mL)
mineral	25	10	294.12	117.65
agua	75	75	882.35	882.35
pulpa	100	85	1176.47	1000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 observamos un peso de 294.12 g de mineral y 882.35 g de agua para obtener una pulpa al 25% de sólidos para la prueba n°1, dicho cálculo matemático se realizó para todas las pruebas y se obtuvieron los siguientes resultados que se pueden visualizar en la tabla 15:

*Tabla 10 Condiciones operativas de las muestras para la prueba de lixiviación (mineral y agua)*

Muestra	Peso del mineral g	Peso de agua g
M1	294.12	882.35
M2	294.12	882.35
M3	365.85	853.65
M4	294.12	882.35
M5	365.85	853.65
M6	329.34	868.26
M7	294.12	882.35
M8	365.85	853.65
M9	329.34	868.26
M10	365.85	853.85

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se puede observar los pesos de mineral y agua calculados para cada prueba que se realizó durante el proceso experimental de lixiviación en el laboratorio.

#### 4.7.5. Cálculo y preparación de reactivos

##### a. Cálculo de la gravedad específica

En primer lugar, se comienza por calcular la gravedad específica del relave gravimétrico de la siguiente manera:

- Se pesa una muestra representativa del relave gravimétrico de 20 g.
- Luego se afora con agua una probeta con 50 ml se anota el volumen inicial para los cálculos.
- Se introducen los 20 g de relave gravimétrico previamente pesado a la probeta.
- Después que ocurra el desplazamiento de agua en la probeta se anota el volumen que es de 58 mL.
- Ahora determinamos la gravedad específica con la siguiente ecuación matemática:

$$G.E. = \frac{\text{peso de mineral}}{v_f - v_o}$$

G.E: gravedad específica. Vo: volumen inicial de agua. Vf: volumen final de agua.

$$G.E. = \frac{20 \text{ g}}{58 \text{ ml} - 50 \text{ ml}}$$

$$G.E. = 2.5 \text{ g/cm}^3$$

Este resultado nos sirve para todas las muestras a trabajar ya que todas son iguales y por eso se hace solo una vez.

##### b. Cálculo de la cal inicial

Ahora comenzamos a calcular la cal inicial para la muestra número 1 donde requerimos seguir los siguientes pasos:

- Primero en una probeta aforar 100 mL de agua.
- Pesar una muestra representativa de 50 g del relave gravimétrico.
- Luego introducir en el reactor (botella), el agua y el material ya pesado, y colocarlo en la banca de rodillos y hacerlo rotar el reactor por 10 minutos para que se homogenice la pulpa.
- Luego medir el pH y anotar el inicial.
- Agregar cal a la pulpa poco a poco hasta que el pH llegue al adecuado para nuestro experimento que es de un pH 11 el que requerimos.
- Usando la relación matemática podemos calcular la cal inicial que requerimos para el peso de relave gravimétrico, así como se muestra en la siguiente relación:

2.08 g de cal..... 50 g relave gravimétrico

x (g) de cal ..... (g) relave gravimétrico

y tenemos que para 294.12 g de relave gravimétrico:

2.08 g de cal..... 50 g relave gravimétrico

x g de cal ..... 294.12 g relave gravimétrico

$$\text{cal inicial} = \frac{2.08 \text{ g} \times 294.12 \text{ g}}{50 \text{ g}}$$

$$\text{cal inicial} = 12.23 \text{ g de cal inicial}$$

Entonces según el resultado para 294.12 g de relave gravimétrico necesitamos adicionar 12.23 g de cal a la pulpa para la lixiviación, para cada una de las muestras se realiza el mismo cálculo matemático.

### c. Cálculo del reactivo Gold Max

Realizamos el cálculo para la adición del reactivo Gold Max con la siguiente relación matemática:

$$\text{Peso de reactivo} = \frac{\text{VOLUMEN DE AGUA INICIAL} \times \text{CONCENTRACIÓN DEL REACTIVO}}{100}$$

$$\text{Peso de reactivo M 1} = \frac{882.35 \times 0.03}{100}$$

Peso de reactivo M 1 = 0.26 gramos de Gold Max

Lo cual nos indica que requerimos de 0.26 gramos de Gold Max para iniciar con el proceso de lixiviación con la muestra número 1, dicho cálculo se realiza de la misma manera para todas las muestras, podemos ver en la tabla 11 la cantidad inicial para cal y reactivo lixivante que requerimos para cada prueba a realizar:

*Tabla 11 Componentes iniciales para las pruebas de lixiviación*

Muestra	Peso de mineral (g)	volumen de agua(ml)	peso de cal(g)	GOLD MAX (g)
M1	294.12	882.35	12.23	0.26
M2	294.12	882.35	12.23	0.44
M3	365.85	853.65	15.21	0.26
M4	294.12	882.35	12.23	0.27
M5	365.85	853.65	15.21	0.43
M6	329.34	868.26	13.69	0.35
M7	294.12	882.35	12.23	0.44
M8	365.85	853.65	15.21	0.26
M9	329.34	868.26	13.69	0.35
M10	365.85	853.85	15.21	0.43

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.7.6. Reposición de reactivos

##### a. Reposición de cal

Primero se realiza la medición del pH con el equipo de medición (pHmetro), este procedimiento se realiza según el periodo de tiempo establecido, entonces para la reposición de cal consumida en el proceso de lixiviación se realiza la siguiente ecuación matemática:

(g) de cal inicial..... 11 pH

x (g) de cal reposición ..... X pH (final lectura)

$$x(\text{g}) \text{ de cal reposición} = \frac{(\text{g}) \text{ de cal inicial} \times X \text{ pH (final lectura)}}{11 \text{ pH}}$$

por consiguiente, se utilizan los pesos iniciales de cal para llevar a un pH 11 a la muestra, y dando la lectura de cuanto ha disminuido el pH lo relacionamos y obtenemos el resultado de cal que se debe adicionar a la prueba este procedimiento se realiza según el periodo de tiempo establecido para cada muestra.

##### b. Reposición de reactivo Gold Max

Para la reposición del reactivo debemos tener en cuenta que el procedimiento que se realiza es de cuidado, ya que se debe de seguir los pasos de manera estricta para no tener falsos valores y poder reemplazar dichas medidas en las ecuaciones matemáticas que se usan, a continuación, se indican los pasos a realizar:

- Primero se prepara una solución de nitrato de plata de 4.33 g en 1000 mL que es nuestro titulante.
- Preparar una solución de yoduro de potasio al 5 % que es el indicador.
- Sacar una alícuota de 2 mL del reactor para titular.
- Añadir 3 gotas de yoduro de potasio.

- Comenzar aforando la bureta anotando el volumen inicial soltar gota a gota hasta que la solución cambie de color a un blanco lechoso.
- Anotar el gasto del titulante y realizar los cálculos matemáticos.

Gasto de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) =  $V_o - V_f$

$$C = \frac{25 \times G}{V_a}$$

$$X = P \times f$$

$$R_o = C_1 - X$$

$$R_f = \frac{R_o \times V_o}{100}$$

Dónde:

$C_1$ : concentración de reactivo de la prueba.

$C$ : concentración del titulante.

$V_o$ : volumen de la alícuota.

$V_f$ : volumen de titulante gastado.

$f$ : factor de corrección (0.01).

$x$ : concentración de reactivo final.

$G$ : gasto de reactivo.

$P$ : pureza del reactivo (0.98).

#### 4.7.7 Variables del proceso de lixiviación

En la tabla 12 se muestra los rangos de las variables a estudio las cuales tendrán diferentes combinaciones según el número de muestra y son la base del análisis estadístico:

*Tabla 12 variables del proceso de lixiviación*

variables	niveles	
	bajo	alto
concentración de reactivo (ppm)	300	500
tiempo de lixiviación (hrs)	24	36
porcentaje de solidos (%)	25	30

Fuente: Elaboración propia



## Capítulo V

### Resultados experimentales

#### 5.1. Resultados del reporte del análisis químico de las soluciones PLS

Tenemos los resultados de las muestras enviadas a análisis químico de las 10 pruebas de lixiviación procesadas con diferentes parámetros de ejecución según el diseño experimental propuesto, que nos determinó la extracción en función de miligramos por litro los cuales tienen que ser operados matemáticamente para realizar un balance metalúrgico, donde se dará las respuestas al trabajo de investigación, los datos de dicho laboratorio son los siguientes y se visualizan en la tabla 13:

*Tabla 13 Resultados de análisis químico de la solución PLS*

muestra	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	oro diluido mg/L
M1	40	3.56
M2	40	3.23
M3	40	3.86
M4	40	2.96
M5	40	4.16
M6	40	4.32
M7	40	3.89
M8	40	4.78
M9	40	4.24
M10	40	4.98

Fuente: Laboratorios Analíticos Del Sur

#### 5.2. Balance metalúrgico de las pruebas de lixiviación

El balance metalúrgico es la base fundamental para hallar el porcentaje de extracción de las pruebas de lixiviación realizadas, dichos valores serán calculados matemáticamente utilizando los resultados de los análisis químicos emitidos por el laboratorio siguiendo los siguientes pasos:

### 5.2.1. Balance metalúrgico para la muestra 1

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 1.

$$\text{CABEZA: } 294.12 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 3.57 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 882.35 \text{ mL} \times 3.56 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.14 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 294.12 \text{ g} \times 1.56 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.46 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 3.14 \text{ mg} + 0.46 \text{ mg} = 3.68 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 1

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{3.32 \text{ mg}}{3.68 \text{ mg}} \times 100 = 87.25 \%$$

En la tabla 14 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 1ra muestra:

Tabla 14 Balance metalúrgico de la prueba 1

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm mg/L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	294.12		12.15	3.57	
PLS		882.35		3.14	
Ripios	294.12		1.56	0.46	
Cabeza calculada	294.12		12.24	3.6	87.25

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2. Balance metalúrgico para la muestra 2

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 2.

$$\text{CABEZA: } 294.12 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 3.57 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 882.35 \text{ mL} \times 3.23 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 2.85 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 294.12 \text{ g} \times 2.85 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.84 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 2.85 \text{ mg} + 0.84 \text{ mg} = 3.69 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 2

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{2.85 \text{ mg}}{3.69 \text{ mg}} \times 100 = 77.27 \%$$

En la tabla 15 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 2da muestra:

Tabla 15 Balance metalúrgico de la prueba 2

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm mg/L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	294.12		12.15	3.57	
PLS		882.35		2.85	
Ripios	294.12		2.85	0.84	
Cabeza calculada	294.12		12.54	3.69	77.27

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3. Balance metalúrgico para la muestra 3

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 3.

$$\text{CABEZA: } 365.85 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.45 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 853 \text{ mL} \times 3.86 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.30 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 365.85 \text{ g} \times 3.25 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.19 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 3.30 \text{ mg} + 1.19 \text{ mg} = 4.48 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 3

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{3.30 \text{ mg}}{4.48 \text{ mg}} \times 100 = 73.48 \%$$

En la tabla 16 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 3er muestra:

Tabla 16 Balance metalúrgico de la prueba 3

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley		Contenido metálico (mg)	extracción (%)
			g/Tm	mg/L		
Cabeza	365.85		12.15		4.45	
PLS		853.65		3.86	3.3	
Ripios	365.85		3.25		1.19	
Cabeza calculada	365.85		12.26		4.48	73.48

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.4. Balance metalúrgico para la muestra 4

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 4.

$$\text{CABEZA: } 294.12 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 3.57 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 882.35 \text{ mL} \times 2.96 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 2.61 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 294.12 \text{ g} \times 3.36 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.99 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 2.61 \text{ mg} + 0.99 \text{ mg} = 3.60 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 4

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{2.61 \text{ mg}}{3.60 \text{ mg}} \times 100 = 72.55 \%$$

En la tabla 17 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 4ta muestra

Tabla 17 Balance metalúrgico de la prueba 4

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm mg/L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	294.12		12.15	3.57	
PLS		882.35		2.61	
Ripios	294.12		3.36	0.99	
Cabeza calculada	294.12		12.24	3.6	72.55

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.5. Balance metalúrgico para la muestra 5

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 5.

$$\text{CABEZA: } 365.85 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.45 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 853.66 \text{ mL} \times 4.46 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.55 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 365.85 \text{ g} \times 2.62 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.96 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 3.55 \text{ mg} + 1.58 \text{ mg} = 4.51 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 5

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{3.55 \text{ mg}}{4.51 \text{ mg}} \times 100 = 78.75 \%$$

En la tabla 18 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 5ta muestra:

Tabla 18 Balance metalúrgico de la prueba 5

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm mg/L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	365.85		12.15	4.45	
PLS		853.65		3.55	
Ripios	365.85		2.62	0.96	
Cabeza calculada	365.85		12.33	4.51	78.75

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.6. Balance metalúrgico para la muestra 6

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 6.

$$\text{CABEZA: } 329.34 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.00 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 868.26 \text{ mL} \times 4.32 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.75 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 329.34 \text{ g} \times 1.68 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.55 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 3.66 \text{ mg} + 0.55 \text{ mg} = 4.30 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 6

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{3.75 \text{ mg}}{4.30 \text{ mg}} \times 100 = 87.15 \%$$

En la tabla 19 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 6ta muestra:

*Tabla 19 Balance metalúrgico de la prueba 6*

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm mg/L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	329.34		12.15	4	
PLS		868.26		3.75	
Ripios	329.34		1.68	0.55	
Cabeza calculada	329.34		13.07	4.3	87.15

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.7. Balance metalúrgico para la muestra 7

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 7.

$$\text{CABEZA: } 294.12 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 3.57 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 882.35 \text{ mL} \times 3.89 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.43 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 294.12 \text{ g} \times 1.08 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.32 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 3.43 \text{ mg} + 0.32 \text{ mg} = 3.75 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 7

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{3.43 \text{ mg}}{3.75 \text{ mg}} \times 100 = 91.53 \%$$

En la tabla 20 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 7ma muestra:

Tabla 20 Balance metalúrgico de la prueba 7

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm mg/L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	294.12		12.15	3.57	
PLS		882.35		3.43	
Ripios	294.12		1.08	0.32	
Cabeza calculada	294.12		12.75	3.75	91.53

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.8. Balance metalúrgico para la muestra 8

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 8.

$$\text{CABEZA: } 365.85 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.45 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 853.66 \text{ mL} \times 4.78 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 4.08 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 294.12 \text{ g} \times 1.18 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.43 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 4.08 \text{ mg} + 0.43 \text{ mg} = 4.51 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 8

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{4.08 \text{ mg}}{4.51 \text{ mg}} \times 100 = 90.43 \%$$

En la tabla 21 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 8va muestra:

Tabla 21 Balance metalúrgico de la prueba 8

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley		Contenido metálico (mg)	extracción (%)
			g/Tm	mg/L		
Cabeza	365.85		12.15		4.45	
PLS		853.65		4.78	4.08	
Ripios	365.85		1.18		0.43	
Cabeza calculada	365.85		12.33		4.51	90.43

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.9. Balance metalúrgico para la muestra 9

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 9.

$$\text{CABEZA: } 329.34 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.00 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 868.26 \text{ ml} \times 4.24 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 3.68 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 329.34 \text{ g} \times 1.70 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.56 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 3.68 \text{ mg} + 0.56 \text{ mg} = 4.13 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 9

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{3.68 \text{ mg}}{4.13 \text{ mg}} \times 100 = 86.80 \%$$



En la tabla 22 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 9na muestra:

Tabla 22 Balance metalúrgico de la prueba 9

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley		Contenido metálico (mg)	extracción (%)
			g/Tm	mg/L		
Cabeza	329.34		12.15		4	
PLS		868.26		4.24	3.68	
Ripios	329.34		1.7		0.56	
Cabeza calculada	329.34		12.88		4.24	86.8

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.10. Balance metalúrgico para la muestra 10

a. Cálculo del contenido metálico para la muestra 10.

$$\text{CABEZA: } 365.85 \text{ g} \times 12.15 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.45 \text{ mg}$$

$$\text{PLS: } 853.66 \text{ mL} \times 4.98 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} = 4.25 \text{ mg}$$

$$\text{RIPIOS: } 365.85 \text{ g} \times 0.96 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.35 \text{ mg}$$

$$\text{CABEZA CALCULADA: } 4.25 \text{ mg} + 0.35 \text{ mg} = 4.60 \text{ mg}$$

b. Porcentaje de extracción para muestra 10

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{4.25 \text{ mg}}{4.60 \text{ mg}} \times 100 = 92.37\%$$

En la tabla 23 se puede apreciar el balance metalúrgico para la 10ma muestra:

Tabla 23 Balance metalúrgico de la prueba 10

	Peso (g)	Volumen (ml)	ley g/Tm	mg/ L	Contenido metálico (mg)	extracción (%)
Cabeza	365.85		12.15		4.45	
PLS		853.66		4.98	4.25	
Ripios	365.85		0.96		0.35	
Cabeza calculada	365.85		12.58		4.6	92.37

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24 se muestran los resultados de los balances metalúrgicos realizados a las 10 muestras, donde podemos ver los porcentajes de extracción de cada una.

Tabla 24 Resumen del porcentaje de extracción

Muestra	Concentración oro (mg/L)	% extracción
M1	3.56	87.25
M2	3.23	77.27
M3	3.86	73.48
M4	2.96	72.55
M5	4.16	78.75
M6	4.22	87.15
M7	3.89	91.53
M8	4.78	90.43
M9	3.94	86.80
M10	4.98	92.37

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 24 se puede observar que la muestra M10 tiene el mayor porcentaje de extracción a comparación de las otras pruebas realizadas experimentalmente.

### 5.3 Cinética de lixiviación

En la tabla 25 podemos visualizar la relación que existe entre el tiempo el porcentaje de extracción de oro utilizando los siguientes periodos de tiempo de 24 y 36 horas respectivamente teniendo en consideración los parámetros de la prueba número 10.

Tabla 25 Extracción de oro de prueba 10 en un tiempo de 0 a 36 horas

Tiempo (hrs)	Concentración oro (mg/L)	% extracción
0	0	0.00
24	4.16	78.75
36	4.98	92.37

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver la relación entre el tiempo y el porcentaje de extracción, siendo el tiempo muy relevante dentro del proceso.

#### 5.4 Diseño factorial

Diseño factorial que tomamos en nuestro trabajo de investigación es el modelo factorial de  $2^3$  con doble réplica en el punto central donde:

- 3 son las variables que contemplamos en el experimento los cuales son: concentración de reactivo, tiempo de lixiviación y porcentaje de sólidos en pulpa.
- 2 nos indica los niveles a trabajar que sería un alto y uno bajo.

Entonces tendríamos un diseño factorial de la siguiente forma  $2^3$  que nos da un resultado de 8 experimentos y con 2 experimentos centrales teniendo un total de 10 experimentos de esta manera tendremos una mayor confiabilidad del trabajo y una mayor facilidad de interpretación de los resultados, dicha data se procesó en el software Minitab para así obtener 10 pruebas cada una con diferente combinación de las variables utilizadas cada combinación de forma aleatoria las cuales podemos visualizar en la tabla 26.

*Tabla 26 Diseño factorial del experimento 2<sup>3</sup> con réplica en el punto central*

OrdenEst	Orden Corrida	PtCentral	Bloques	Tiempo(h)	Concentración Gold Max (ppm)	Sólidos(%)
2	1	1	1	36	300	25
3	2	1	1	24	500	25
5	3	1	1	24	300	30
1	4	1	1	24	300	25
7	5	1	1	24	500	30
9	6	0	1	30	400	27.5
4	7	1	1	36	500	25
6	8	1	1	36	300	30
10	9	0	1	30	400	27.5
8	10	1	1	36	500	30

Fuente: elaboración propia.

Luego de realizar los experimentos obtuvimos la variable respuesta que necesitábamos representada por el porcentaje de extracción, la podemos ver en la tabla 27.

*Tabla 27 Matriz de experimentos del diseño factorial con variable respuesta*

OrdenEst	Orden Corrida	PtCentral	Bloques	Tiempo(h)	Concentración Gold Max (ppm)	Sólidos (%)	respuesta EXTRACCION (%)
2	1	1	1	36	300	25	87.25
3	2	1	1	24	500	25	77.27
5	3	1	1	24	300	30	73.48
1	4	1	1	24	300	25	72.55
7	5	1	1	24	500	30	78.75
9	6	0	1	30	400	27.5	87.15
4	7	1	1	36	500	25	91.53
6	8	1	1	36	300	30	90.43
10	9	0	1	30	400	27.5	86.8
8	10	1	1	36	500	30	92.37

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 28 podemos observar un análisis estadístico de la varianza hallada por software estadístico Minitab evaluando el diseño factorial realizado en este experimento

Tabla 28 Análisis de la varianza

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	8	510.409	63.801	1041.65	0.024
Lineal	3	480.991	160.33	2617.64	0.014
Tiempo (h)	1	442.978	442.978	7232.29	0.007
Concentración (ppm)	1	32.846	32.846	536.25	0.027
Sólidos (%)	1	5.168	5.168	84.38	0.069
Interacciones de 2 términos	3	2.501	0.834	13.61	0.196
Tiempo (h)*concentración (ppm)	1	1.777	1.777	29.01	0.117
Tiempo (h)*sólidos (%)	1	0.324	0.324	5.29	0.261
Concentración (ppm)*sólidos (%)	1	0.401	0.401	6.54	0.237
Interacciones de 3 términos	1	1.044	1.044	17.05	0.151
Tiempo(h)*concentración (ppm)*sólidos (%)	1	1.044	1.044	17.05	0.151
Curvatura	1	25.873	25.873	422.41	0.031
Error	1	0.061	0.061		
Total	9	510.47			

Fuente: Elaboración propia.

Donde el valor de P del modelo es menor a  $0.024 < 0.05$  lo que nos indica que tenemos variables significativas, siendo la variable tiempo y concentración de reactivo cumpliendo que el valor de P es menor a 0.05, pero en caso de la variable % de sólidos al ser mayor a 0.05 es una variable no significativa en el experimento por consiguiente, en el caso de las interacciones de 2 y 3 términos al tener valores mayores a 0.05 nos indica que al combinar variables no obtenemos significancia. En el siguiente diagrama de Pareto de los efectos estandarizados que podemos ver en la figura 5 se podrá apreciar la significancia de las variables analizadas en el trabajo.

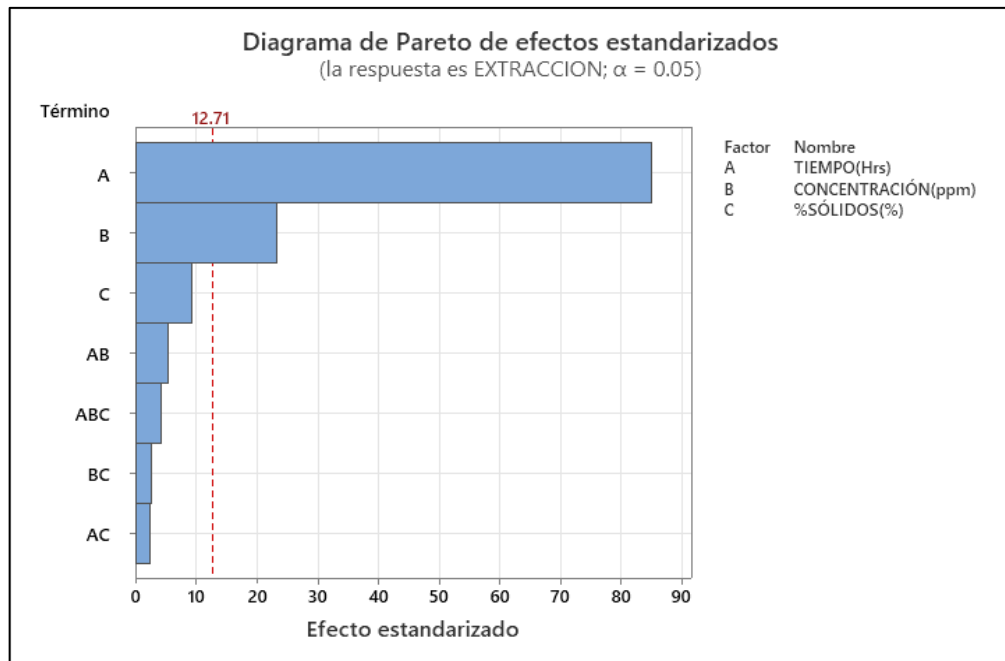


Figura 4 Diagrama de Pareto.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

En la figura 5 podemos ver que las variables de tiempo y concentración de reactivo Gold Max son significativas por tener mayor proporción en el gráfico, lo mismo que indicamos en la varianza son variables que influyen directamente en el experimento.

En la figura 5 podemos ver los efectos principales para el porcentaje de extracción que es la variable respuesta:

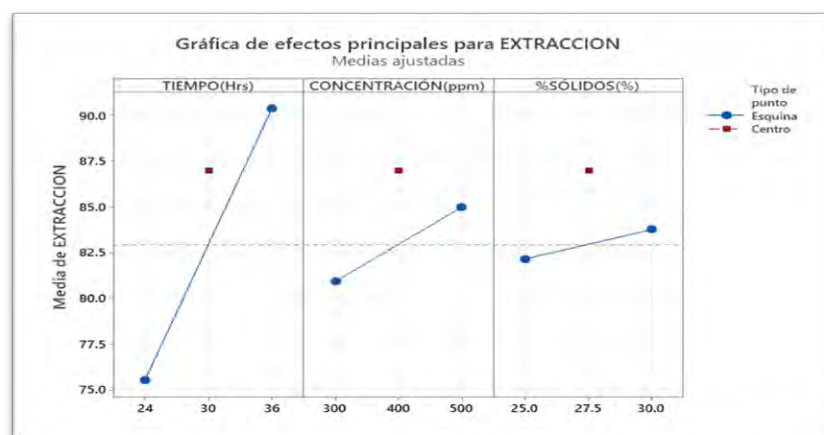


Figura 5 efectos principales para extracción.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

En la figura 6 podemos ver tres rectas con pendientes positivas, siendo la variable tiempo la recta con mayor pendiente llegando una de sus esquinas a la media de extracción de 92.37% demostrando así que el tiempo tiene una mayor significancia y la concentración del reactivo quedando en segundo lugar con menor significancia.

En la figura 6 podemos ver en los tres gráficos que en ninguno de ellos se interceptan o cruzan los segmentos, lo que nos indica que las interacciones entre las variables no son significativas, sin embargo; también se puede apreciar que las combinaciones de tiempo vs concentración y tiempo vs %sólidos, tienen un mejor resultado en el % de extracción, de esta manera podemos reafirmar que el tiempo es la variable con mayor influencia en el proceso.

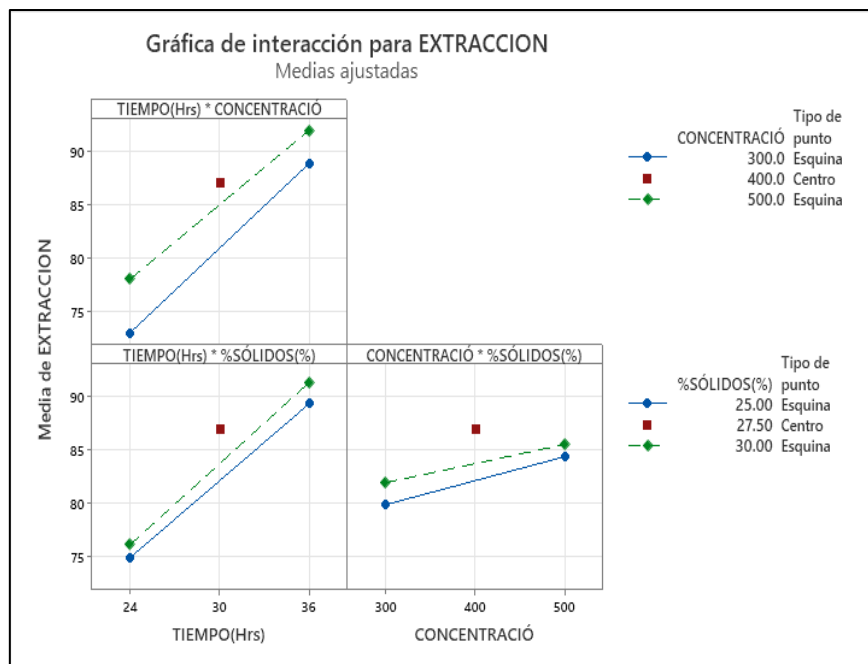


Figura 6 Diagrama de interacción para extracción.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

En la figura 7 podemos apreciar que se obtuvo el mayor porcentaje de extracción siendo 92.37% cuando usamos los valores más altos para cada variable y un punto medio con un 86.975% cuando se tienen los valores medios de cada variable.

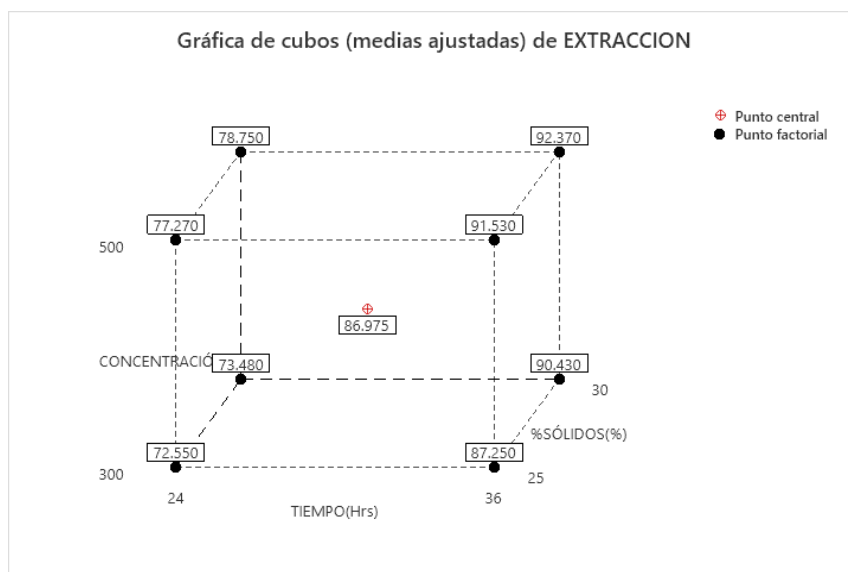


Figura 7 Diagrama de diseño factorial por método de cubo.

Fuente: Software estadístico Minitab 19.

A continuación, podemos ver la ecuación generada por el software Minitab la cual se dará una codificación teniendo en cuenta la significancia de las variables.

### Ecuación de regresión

$$\text{Extracción (\%)} = 84.294 - 8.78 \text{ Tiempo(h)}_{24} + 2.68 \text{ Tiempo(h)}_{30} + 6.10 \text{ Tiempo(h)}_{36}$$

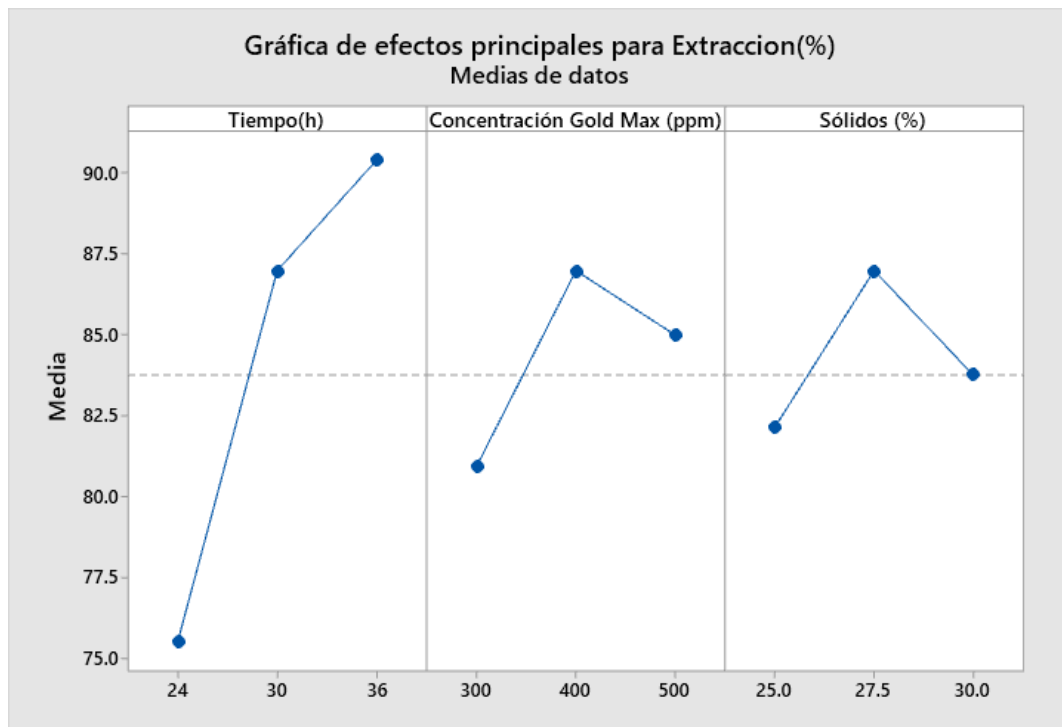
Tabla 29 test de tukey

Variables	Intervalo inferior	Media	Intervalo superior	Significancia
Tiempo(h)	75.5125	86.975	90.395	0.007
Concentración Gold Max (ppm)	80.9275	86.975	84.98	0.027
Sólidos (%)	82.15	86.975	83.76	0.069

Elaboración propia

En la tabla 29 podemos verificar que el intervalo superior de la variable tiempo es la más alta en función con el porcentaje de extracción donde su nivel de significancia es menor lo cual nos indica que es la variable con más relevancia en el experimento.





*figura 8 grafica de efectos principales para extracción (%)*  
*Fuente: Software estadístico Minitab 19.*

En la figura 8, se puede visualizar la media encontrada en el trabajo de investigación con sus respectivos intervalos inferiores y superiores, en donde se tiene que la variable tiempo tiende a superar la media lo que genera que es la variable con sus significancia en el trabajo de investigación, asimismo se visualiza que el porcentaje de solidos su intervalo inferior es inferior ala media lo cual nos indica que es la variable que se estudio de menor significancia en el trabajo

## Discusión de resultados

### Análisis de resultados experimentales.

En cuanto a la minerografía podemos afirmar la presencia de minerales como la pirita las cuales se encuentran rellenas con óxidos de fierro con granulometría muy fina, cuarzo con impregnaciones de óxidos en los bordes y limonita presente, se puede apreciar también el oro en las rayaduras de orientación aleatoria conjuntamente con el óxido de fierro, por lo que se puede deducir que en presencia de óxido de fierro se tendrá el oro no solo dentro de rayaduras de pirita sino también de cuarzo, siendo un beneficio para nosotros al momento de realizar las pruebas en laboratorio ya que el relave proveniente de la concentración gravimétrica paso por una remolienda para obtener una mayor liberación de 52% malla-200 considerando un tiempo de 10 minutos, teniendo como resultado gracias a la liberación del metal valioso un mejor porcentaje de extracción.

Debemos de tener en cuenta que en las diversas pruebas realizadas según el diseño experimental, tomando las diferentes combinaciones de los valores de las variables visualizadas en la tabla 32, al concluir con cada una de ellas pudimos ver satisfactorios resultados las cuales podemos visualizarlas en la tabla 29 observando tanto la concentración de oro y también el % de extracción en cada una de las muestras; viendo que tenemos el valor más alto con 92.37% de extracción en la muestra 10, considerando 36 h como tiempo de lixiviación, 500 ppm de concentración de reactivo lixivante Gold Max y 30% de sólidos, y por otro lado el menor porcentaje de extracción fue 72.55% en la muestra 4, con las siguientes condiciones 24 de tiempo de lixiviación, 300 ppm de concentración de reactivo lixivante Gold Max y 25% de sólidos.

### **Análisis de los resultados del diseño factorial $2^3$ con réplica en el punto central**

Según la tabla 33 donde el valor de  $P$  del modelo es menor a  $0.024 < 0.05$  lo que nos indica que tenemos variables significativas, siendo la variable tiempo y concentración de reactivo, cumpliendo que el valor de  $P$  es menor a  $0.05$ , pero en caso de la variable % de sólidos al ser mayor a  $0.05$  es una variable no significativa en el experimento, por consiguiente en el caso de las interacciones de 2 y 3 términos al tener valores mayores a  $0.05$  nos indica que al combinar variables no obtenemos significancia. En el siguiente diagrama de Pareto de los efectos estandarizados que podemos ver en la figura 5 se aprecia la significancia de las variables analizadas en el trabajo, vemos lo mismo que las variables tiempo y concentración de reactivo Gold Max son las más significativas para el diseño experimental; también podemos ver la significancia de cada una de las variables con sus diferentes combinaciones dobles las cuales no tienen significancia en el proceso como se mencionó anteriormente, en la figura 6 podemos ver tres rectas con pendientes positivas, siendo la variable tiempo la recta con mayor pendiente llegando una de sus esquinas a la media de extracción de  $92.37\%$  demostrando así que el tiempo tiene una mayor significancia y la concentración del reactivo quedando en segundo lugar con menor significancia.

Así mismo en la figura 8 podemos apreciar que se obtuvo el mayor porcentaje de extracción siendo  $92.37\%$  cuando usamos los valores más altos para cada variable y un punto medio con un  $86.975\%$  cuando se tienen los valores medios de cada variable.

## Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

En la lixiviación de relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin utilizando el reactivo lixivante Gold Max se obtuvo un máximo de 92.37% de extracción de oro, los cuales se ven plasmados en los resultados de obteniendo dicho porcentaje al usar los valores más altos en cada uno de las variables, esto nos indica que el reactivo lixivante Gold Max es una alternativa viable en la lixiviación de los relaves provenientes de la concentración gravimétrica de la misma.

El tiempo es la variable que tiene mayor significancia en el proceso, esto se determinó según los resultados del diseño experimental y se vio reflejado en el mayor % de extracción donde se consideró un tiempo de 36 horas, por este motivo se puede afirmar que el tiempo adecuado para obtener el máximo % de extracción es de 36 h.

La concentración del reactivo lixivante Gold Max también fue una de las variables que tiene mayor significancia en el proceso, esto se determinó según los resultados del diseño experimental y se vio reflejado en el mayor % de extracción donde se consideró una concentración del reactivo Gold Max de 500 ppm, por este motivo se puede afirmar que la concentración del reactivo Gold Max más adecuado para obtener el máximo % de extracción es de 500 ppm.

El porcentaje de sólidos no fue una variable con significación dentro del proceso, esto se determinó según los resultados del diseño experimental, por este motivo se puede afirmar que el porcentaje de sólidos no influye significativamente en el proceso, pero se debe considerar dentro del rango trabajado para no generar problemas de operacionalización.

En conclusión, al obtener una extracción mayor al 90%, se concluye que se acepta la hipótesis planteada y por consecuencia podemos afirmar que el reactivo Gold Max es eficiente para tratar este tipo de relaves provenientes de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre propiedad de la compañía minera Galvin.

## Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio de lixiviación del mineral de cabeza en el yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin para lograr una mayor extracción de oro.

Se recomienda tomar en cuenta la granulometría del mineral para poder estudiar la significancia dentro del proceso de extracción de dicho relave proveniente de la concentración gravimétrica.

Se recomienda realizar estudios de lixiviación comparativa con diferentes reactivos lixiviantes.

Se recomienda realizar análisis por CN libre y CN WAD al PLS y a la solución de ripios, los cuales podrán decirnos si el reactivo lixivante Gold Max es amigable con el medio ambiente.

## Bibliografía

- Calli, F. R. (2016). *“optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley-minera Aruntani Sac”*. universidad Nacional Altiplano, Puno, Peru.
- Calli, F. R. (2016). *OPTIMIZACION DEL PROCESO DE LIXIVIACION DE MINERALES*. universidad nacional de altiplano: (tesis de pregrado).
- Carasas Rojas, P. (2011). *Extracción del oro por el Proceso CIL en la Zona de Chala-Caraveli-Arequipa (investigación Tecnológica)*. Cusco: UNSAAC.
- Ccorimanya Apaza, F., & Quijhua Mendoza, F. (2009). *Extracción de oro por el proceso CIL en el yacimineto Achupalla Cerca Carhuayo- Quipicanchi -Cusco*. Cusco: UNSAAC.
- Conza Peñafiel, F. (2018). Estudio de investigación para recuperar Oro y plata con cianuro y Gold Max de los Relaves de Flotación. Arequipa: UNSA.
- DREM. (13 de 01 de 2022). *GERENCIA REGIONAL DE ENERGIA Y MINAS E HIDRICARBUROS*. Obtenido de GERENCIA REGIONAL DE ENERGIA Y MINAS E HIDRICARBUROS: <https://www.gob.pe/regioncusco-gremh>
- Franco Febres, E. R., & Rodriguez Mejia, T. F. (2001). *Cianuración de Minerales Auríferos Nina San Sebastian de Llusco- Chumbivilcas*. Cusco: UNSAAC.
- Franco Jimenez, J. A. (1991). *Geología - Minería Metalúrgia del oro* (Segunda ed.). Lima: Grafotécnica editores e Impresores S. R. L.
- Huang, P., Twidwel, P., & Ph D.J.D. Mi. (1996). *Hidrometalúrgia* (Vols. I-II). Lima: San Marcos.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mexicana.

Hernandez, A. (24 de Agosto de 2017). Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/331479113/12-Fundamentos-de-Cianuracion-1>

Medina janampa, H., & Palomino Isidro, R. E. (18 de Agosto de 2017). *geco.mineroartesanal*. Obtenido de [https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjU6urJ3\\_DVAhXBYyYKHcLjARkQFgg8MAY&url=http%3A%2F%2Fgeco.mineroartesanal.com%2Ftiki-download\\_wiki\\_attachment.php%3FattId%3D690&usg=AFQjCNHRYBVSt2f7uoZ-7L-16I0vhAHC](https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjU6urJ3_DVAhXBYyYKHcLjARkQFgg8MAY&url=http%3A%2F%2Fgeco.mineroartesanal.com%2Ftiki-download_wiki_attachment.php%3FattId%3D690&usg=AFQjCNHRYBVSt2f7uoZ-7L-16I0vhAHC)

Misari Chuquipoma, F. S. (2010). *Metalúrgia del oro* (1era edición ed.). Lima: San Marcos E. I. R. L.

Orcoapaza Loaiza, K. M., & Taype Ccoto, R. (2019). *EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON GOLD MAX PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO DEL YACIMIENTO DE AYAHUAY – APURÍMAC*. cusco.

Royal Chemical. (2016). FICHA TECNICA DE REACTIVO GOLD MAX. *Royal Chemical*, 3.

Sancho, J., Verdeja, L. F., & Ballester, A. (2000). *Metalúrgia extarctiva* (Vol. 2). Madrid: Síntesis, S. A.

Tecsup. (2020). Hidrometalurgia del oro. [https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/Cin%20A9tica%20de%20lixiviaci%20B3n%20y%20recuperaci%20B3n%20de%20oro\\_Revista%20Tecsup\\_V13\\_2019\\_1.pdf](https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/Cin%20A9tica%20de%20lixiviaci%20B3n%20y%20recuperaci%20B3n%20de%20oro_Revista%20Tecsup_V13_2019_1.pdf).



Valadez Aguilar, C. (2021). Extracción de oro por lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la región de Tiquicheo, Michoacán. MEXICO: UMSNH

Vargas Gallardo, J. (2015). *Metalúrgia del oro y la plata* (Segunda edición ed.). Lima: San Marcos E. I. R.L.

Victor, Q., Roberto, M., & María, C. (2021). *ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN EN COLUMNAS UTILIZANDO UN REACTIVO LIXIVIANTE ALTERNATIVO AL CIANURO DE SODIO.* Obtenido de

file:///C:/Users/SERVI\_05/Downloads/IX%20LATINOMETALURGIA2021.pdf

*utilizando un reactivo lixivianante alternativo al cianuro de sodio.* Obtenido de  
file:///C:/Users/SERVI\_05/Downloads/IX%20LATINOMETALURGIA 2021.pdf

## Matriz de consistencia

### TITULO: “Lixiviación de relaves gravimétricos de la CÍA minera Galvin con Gold Max”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Cómo extraer el oro de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin por lixiviación con Gold Max?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál será el tiempo óptimo de lixiviación con Gold Max para lograr la extracción de oro de los relaves de la concentración gravimétrica?</p> <p>¿Cuál será el porcentaje de sólidos óptimo para la extracción de oro en el proceso de lixiviación con Gold Max de los relaves de la concentración gravimétrica?</p> <p>¿Cuál será la concentración óptima de reactivo Gold Max para la extracción de oro en el proceso de lixiviación de los relaves de la concentración gravimétrica?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Extraer por lixiviación con Gold Max el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar el tiempo de lixiviación con Gold Max para lograr la extracción de los relaves de la concentración gravimétrica.</p> <p>Determinar el porcentaje de sólidos óptimo para la extracción de oro en el proceso de lixiviación con Gold Max de los relaves de la concentración gravimétrica.</p> <p>Determinar la concentración de reactivo Gold Max óptimo para la extracción de oro en el proceso de lixiviación, de los relaves provenientes de la concentración gravimétrica.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Si se puede extraer por lixiviación con Gold Max el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>A mayor tiempo de lixiviación de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La cumbre incrementa el porcentaje de extracción</p> <p>El porcentaje de sólidos óptimo para lixiviar los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La cumbre es de 30%.</p> <p>La concentración óptima del reactivo Gold Max para lixiviar los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La cumbre es de 500 ppm.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Porcentaje de extracción del oro.</p> <p><b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b></p> <p>Tiempo de lixiviación.</p> <p>Porcentaje de sólidos de la pulpa.</p> <p>Concentración de reactivo Gold Max.</p> <p><b>VARIABLE INTERVINIENTE</b></p> <p>Presión atmosférica.</p> <p>Características del mineral.</p> <p>Temperatura del medio ambiente</p> <p><b>INDICADORES</b></p> <p>Tiempo de lixiviación (h)</p> <p>Porcentaje de sólidos en pulpa (%)</p> <p>Concentración de reactivo Gold Max (ppm)</p>	<p><b>TIPO</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>NIVEL</b></p> <p>Descriptivo</p> <p>Explicativo</p> <p>Predictivo</p> <p><b>DISEÑO</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>POBLACIÓN</b></p> <p>Relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin</p> <p><b>MUESTRA:</b> 150 Kg</p>

# **Apéndice 1**

## **Cuadros de parámetros operativos**

muestra	1		
volumen de recipiente	1250		ml
volumen operativo	1000		ml
100% a 100g		v 80 %	
25	10	294.1176471	117.6470588
75	75	882.3529412	882.3529412
100	85	1176.470588	1000
muestra	2		
volumen de recipiente	1250		ml
volumen operativo	1000		ml
100% a 100g		v 80%	
25	10	294.1176471	117.6470588
75	75	882.3529412	882.3529412
100	85	1176.470588	1000
muestra	3		
volumen de recipiente	1250		ml
volumen operativo	1000		ml
100% a 100g		v 80%	
30	12	365.8536585	146.3414634
70	70	853.6585366	853.6585366
100	82	1219.512195	1000
muestra	4		
volumen de recipiente	1250		ml
volumen operativo	1000		ml
100% a 100g		v 80%	
25	10	294.1176471	117.6470588
75	75	882.3529412	882.3529412
100	85	1176.470588	1000

muestra	5		
volumen de recipiente	1250	ml	
volumen operativo	1000	ml	
100% a 100g	v 80%		
30	12	365.8536585	146.3414634
70	70	853.6585366	853.6585366
100	82	1219.512195	1000
muestra	6		
volumen de recipiente	1250	ml	
volumen operativo	1000	ml	
100% a 100g	v 80%		
27.5	11	329.3413174	131.7365269
72.5	72.5	868.2634731	868.2634731
100	83.5	1197.60479	1000
	7		
volumen de recipiente	1250	ml	
volumen operativo	1000	ml	
100% a 100g	v 80%		
25	10	294.1176471	117.6470588
75	75	882.3529412	882.3529412
100	85	1176.470588	1000
muestra	8		
volumen de recipiente	1250	ml	
volumen operativo	1000	ml	
100% a 100g	v 80%		
30	12	365.8536585	146.3414634
70	70	853.6585366	853.6585366
100	82	1219.512195	1000
muestra	9		
volumen de recipiente	1250	ml	
volumen operativo	1000	ml	
100% a 100g	v 80%		
27.5	11	329.3413174	131.7365269
72.5	72.5	868.2634731	868.2634731
100	83.5	1197.60479	1000

muestra	10		
volumen de recipiente	1250		ml
volumen operativo	1000		ml
100% a 100g		v 80%	
30	12	365.8536585	146.3414634
70	70	853.6585366	853.6585366
100	82	1219.512195	1000

## **Apéndice 2**

### **Cuadros de control de muestras**

CUADRO DE CONTROL MUESTRA 1											
TIEMPO	CAL	GOLDMAX	PH	conc de Gold MAX	GASTO	VOLUMEN SACADO	C	GOLDMAX	REPOSICION 100 gr	reposicion parcial	reposicion final
0	12.3076923	0.26470588	11	0.03							
1/2	0.44755245	0.04951981	10.6		0.2	2	2.5	0.0245	0.0055	0.04852941	0.04951981
1	0.5034965	0.15981393	10.55		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15661765	0.15981393
2	0.78321678	0.10466687	10.3		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
4	0.06713287	0.10466687	10.94		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
8	0.11188811	0.10466687	10.9		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
16	0.11188811	0.10466687	10.9		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
24	0.33566434	0.10466687	10.7		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
36	0	0	0		0	0	0	0	0	0	

CUADRO DE CONTROL MUESTRA 2											
TIEMPO	CAL	GOLDMAX	PH	conc de Gold MAX	GASTO	VOLUMEN SACADO	C	GOLDMAX	REPOSICION 100 gr	reposicion parcial	reposicion final
0	12.3076923	0.44117647	11	0.05							
1/2	0.11188811	0.22959184	10.9		0.2	2	2.5	0.0245	0.0255	0.225	0.22959184
1	0.3020979	0.33988595	10.73		0.1	2	1.25	0.01225	0.03775	0.33308824	0.33988595
2	0.78321678	0.2847389	10.3		0.15	2	1.875	0.018375	0.031625	0.27904412	0.2847389
4	0.04475524	0.2847389	10.96		0.15	2	1.875	0.018375	0.031625	0.27904412	0.2847389
8	0.4027972	0.2847389	10.64		0.15	2	1.875	0.018375	0.031625	0.27904412	0.2847389
16	0.11188811	0.33988595	10.9		0.1	2	1.25	0.01225	0.03775	0.33308824	0.33988595
24	0	0	0			0	0	0	0	0	0

CUADRO DE CONTROL MUESTRA 3											
TIEMPO	CAL	GOLDMAX	PH	conc de Gold MAX	GASTO	VOLUMEN SACADO	C	GOLDMAX	REPOSICION 100 gr	reposicion parcial	reposicion final
0	15.3095685	0.25609756	11	0.03							
1/2	0.62630053	0.15461672	10.55		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15152439	0.15461672
1	0.4036159	0.15461672	10.71		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15152439	0.15461672
2	0.90465632	0.10126307	10.35		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.0992378	0.10126307
4	0.16701347	0.15461672	10.88		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15152439	0.15461672
8	0.20876684	0.15461672	10.85		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15152439	0.15461672
16	0.36186253	0.15461672	10.74		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15152439	0.15461672
24	0	0	0			0	0	0	0	0	0

CUADRO DE CONTROL MUESTRA 4											
TIEMPO	CAL	GOLDMAX	PH	conc de Gold MAX	GASTO	VOLUMEN SACADO	C	GOLDMAX	REPOSICION 100 gr	reposicion parcial	reposicion final
0	12.3076923	0.26470588	11	0.03							
1/2	0.22377622	0.04951981	10.8		0.2	2	2.5	0.0245	0.0055	0.04852941	0.04951981
1	0.33566434	0.15981393	10.7		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15661765	0.15981393
2	0.22377622	0.10466687	10.8		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
4	0.11188811	0.15981393	10.9		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15661765	0.15981393
8	0.33566434	0.10466687	10.7		0.15	2	1.875	0.018375	0.011625	0.10257353	0.10466687
16	0.33566434	0.15981393	10.7		0.1	2	1.25	0.01225	0.01775	0.15661765	0.15981393
24	0	0	0			0	0	0	0	0	0

CUADRO DE CONTROL MUESTRA 5											
TIEMPO	CAL	GOLDMAX	PH	conc de Gold MAX	GASTO	VOLUMEN SACADO	C	GOLDMAX	REPOSICION 100 gr	reposicion parcial	reposicion final
0	15.3095685	0.42682927	11	0.05							
1/2	0.65413611	0.22212544	10.53		0.2	2	2.5	0.0245	0.0255	0.21768293	0.22212544
1	0.09742453	0.32883275	10.93		0.1	2	1.25	0.01225	0.03775	0.3222561	0.32883275
2	0.45928705	0.27547909	10.67		0.15	2	1.875	0.018375	0.031625	0.26996951	0.27547909
4	0.1391779	0.27547909	10.9		0.15	2	1.875	0.018375	0.031625	0.26996951	0.27547909
8	0.06958895	0.27547909	10.95		0.15	2	1.875	0.018375	0.031625	0.26996951	0.27547909
16	0.11134232	0.32883275	10.92		0.1	2	1.25	0.01225	0.03775	0.3222561	0.32883275
24	0	0	0			0	0	0	0	0	0





# **Anexo 1**

## **Caracterización Minerográfica**

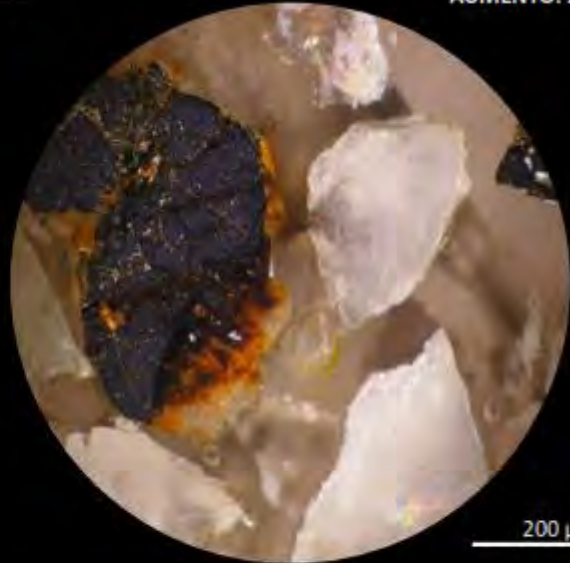
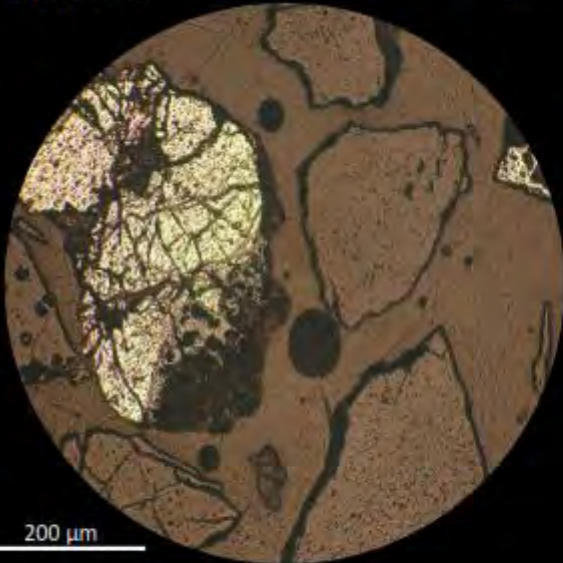
## 1. caracterización mineralógica



AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X

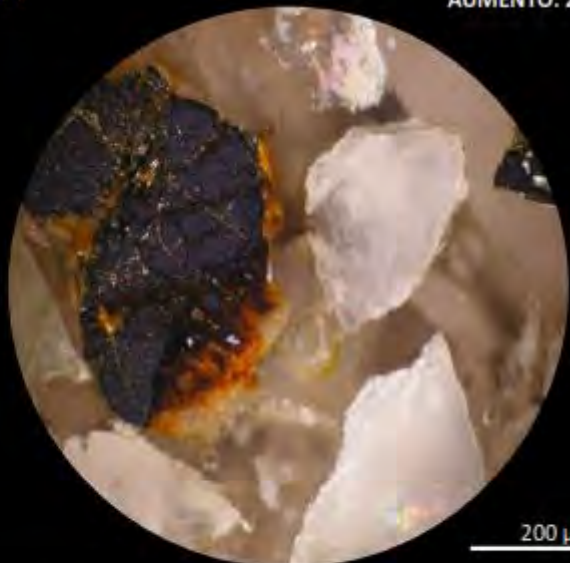
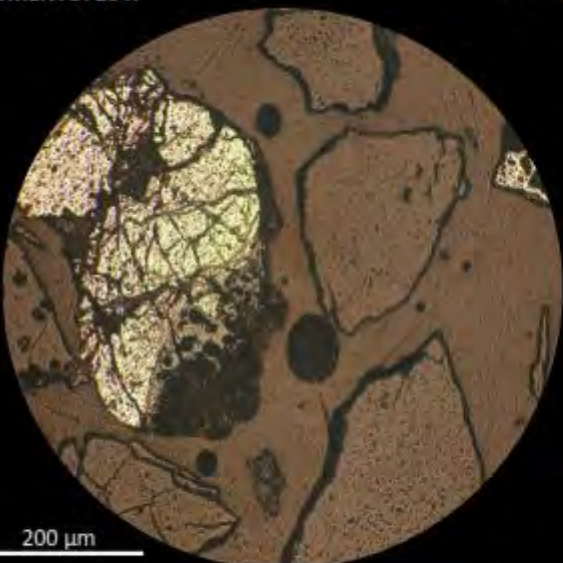


Fragmento de pirita y calcopirita intrusamente fracturado mostrando oxidación de hierro en los bordes. Fragmentos de cuarzo de morfología irregular.

AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X

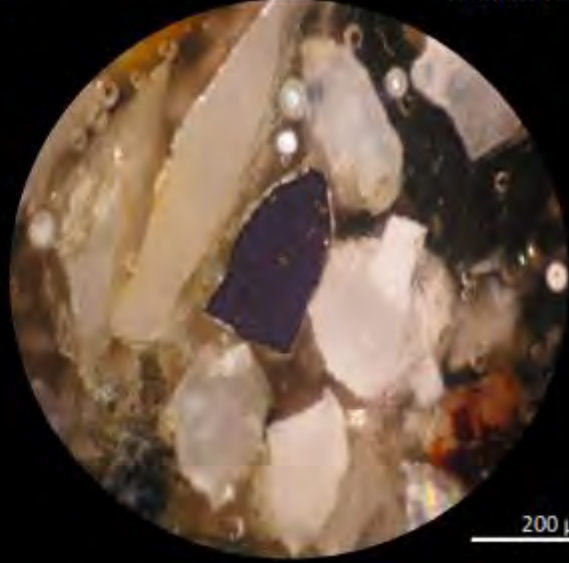
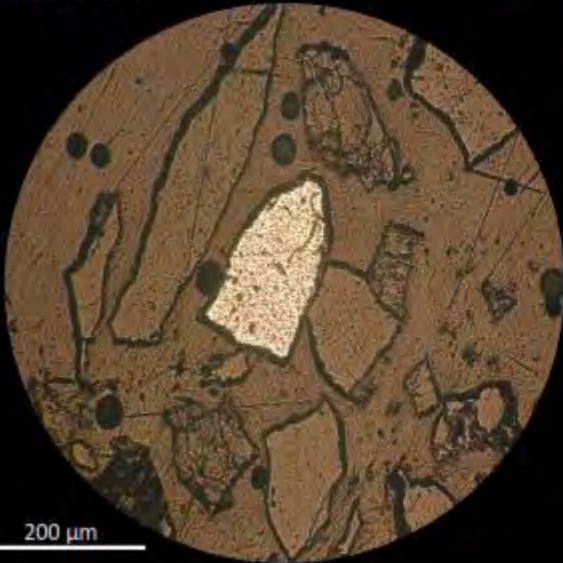


Fragmento de pirita y calcopirita intrusamente fracturado mostrando oxidación de hierro en los bordes. Fragmentos de cuarzo de morfología irregular.

AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X

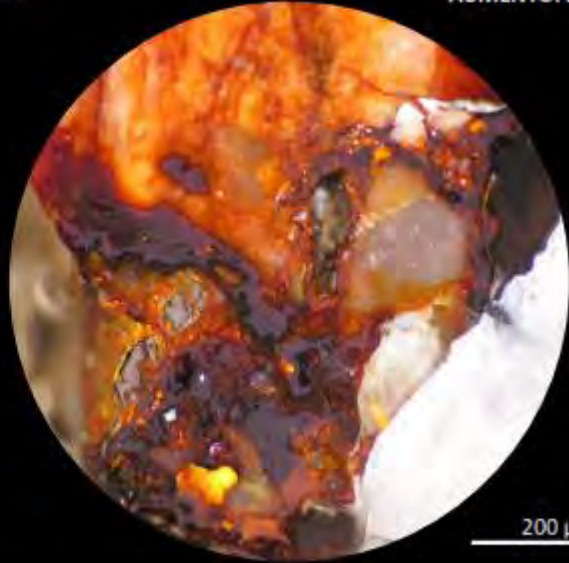
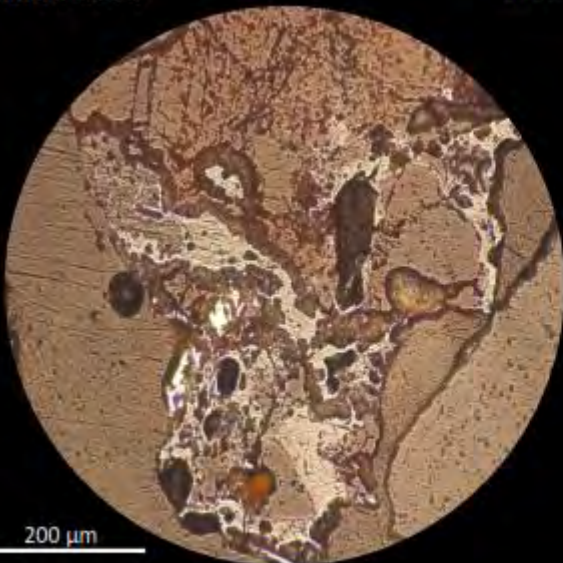


Fragmento aislado de pirita, en conjunto de fragmentos de formas irregulares de cuarzo

AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X

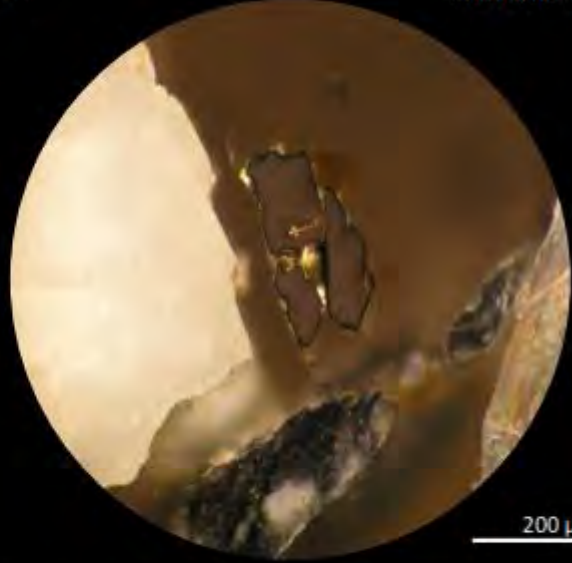
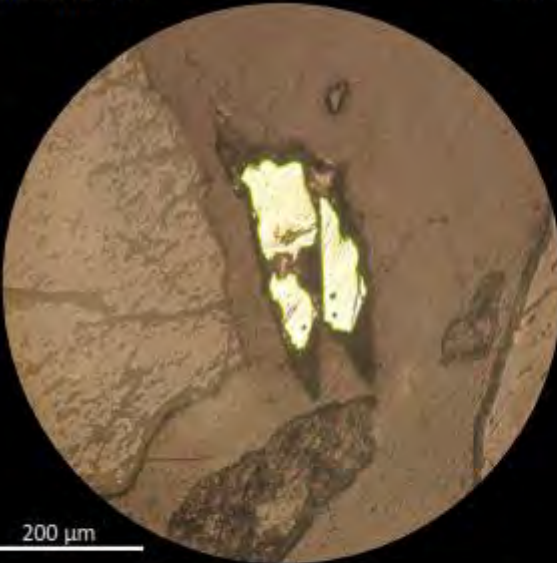


Fragmento de formas irregulares de cuarzo con cavidades rellenas de hidróxidos de hierro (limonitas?) y pirita.

AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X

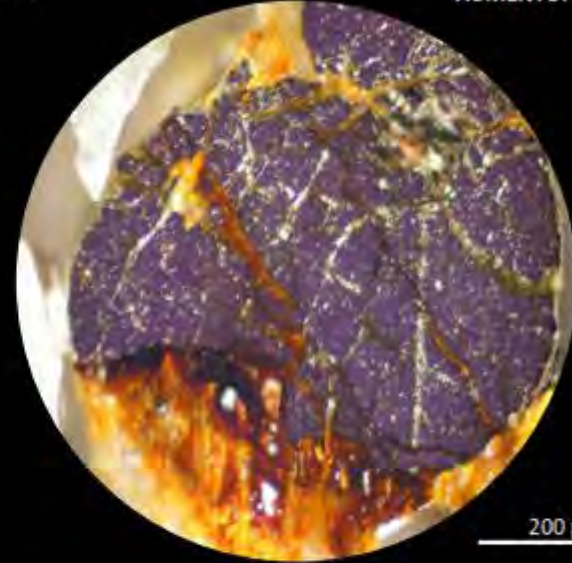
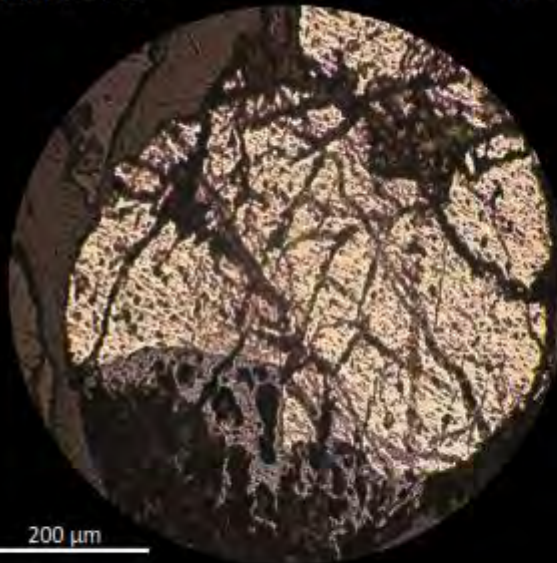


Fragmento de pirita de formas irregulares dentro de cavidades de cuarzo amorfo. La pirita con rayaduras de orientación aleatoria; finamente rellena con óxidos de fierro y Au?

AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X

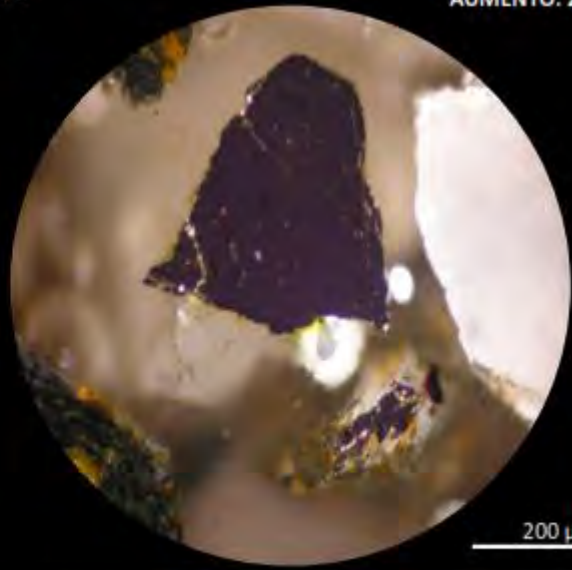
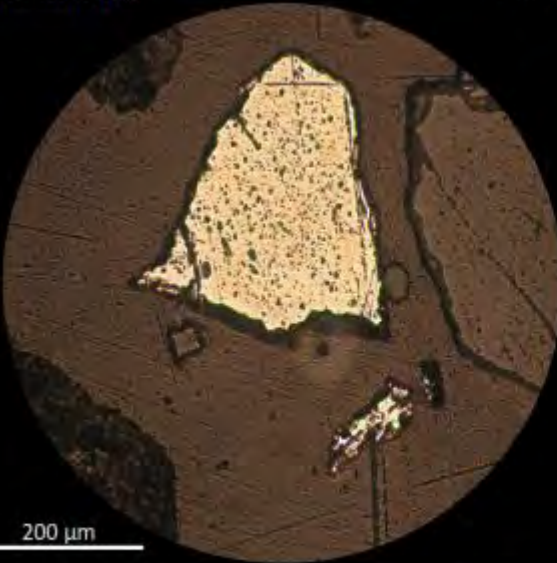


Fragmento de morfología irregular de pirita intensamente fracturado. En bordes y fracturas relleno de óxidos de fierro de moderado a intenso.

AUMENTO: 20 X

MUESTRA 1

AUMENTO: 20 X



Fragmento libre de pirita mostrado cavidades con disposición aleatoria y dimensiones variadas.



MUESTRA 2

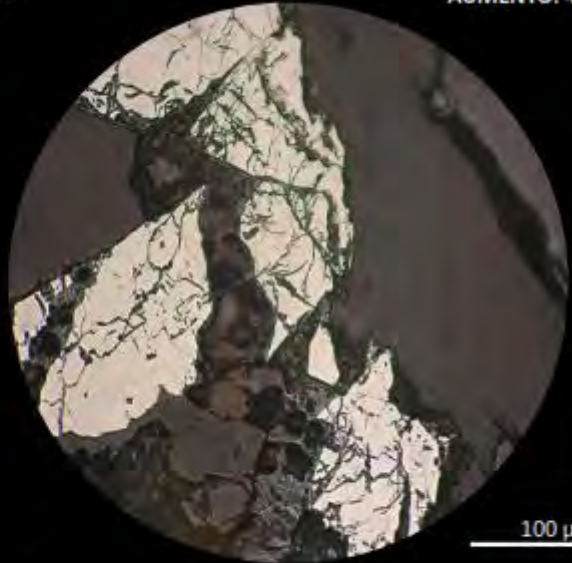
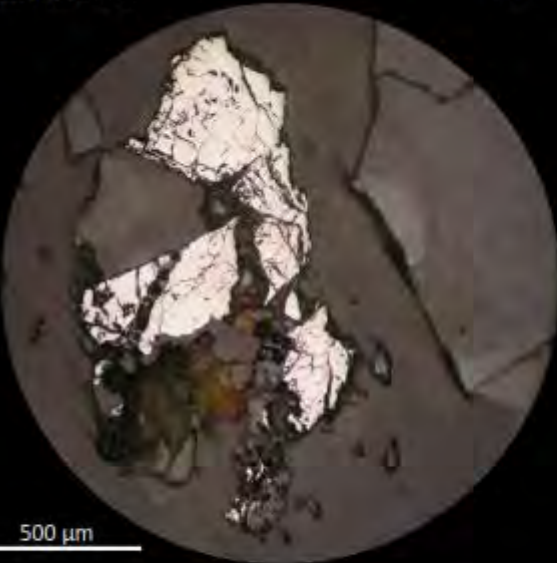


100 mm

AUMENTO: 10 X

MUESTRA 2

AUMENTO: 40 X

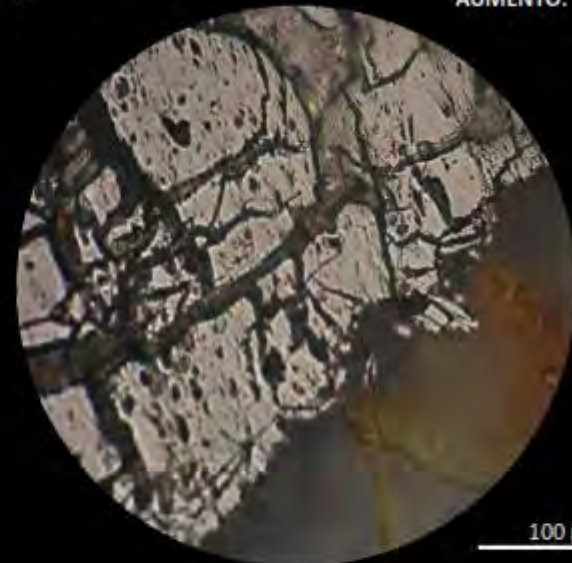
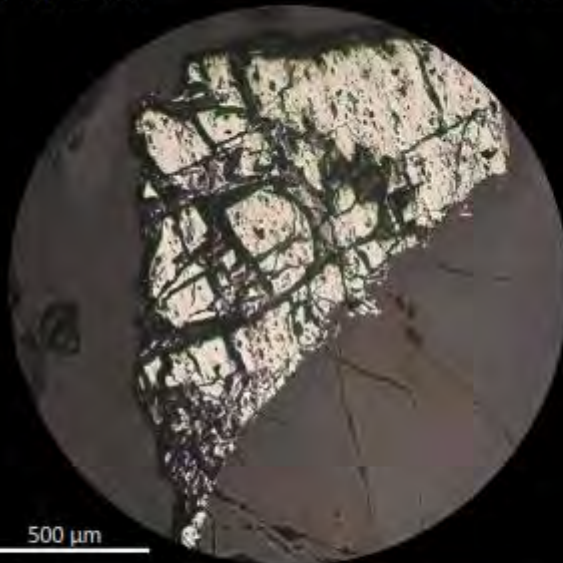


Fragmento de formas irregulares de pirita intensamente fracturada. En cavidades cuarzo amorfo con presencia de óxidos de hierro.

AUMENTO: 10 X

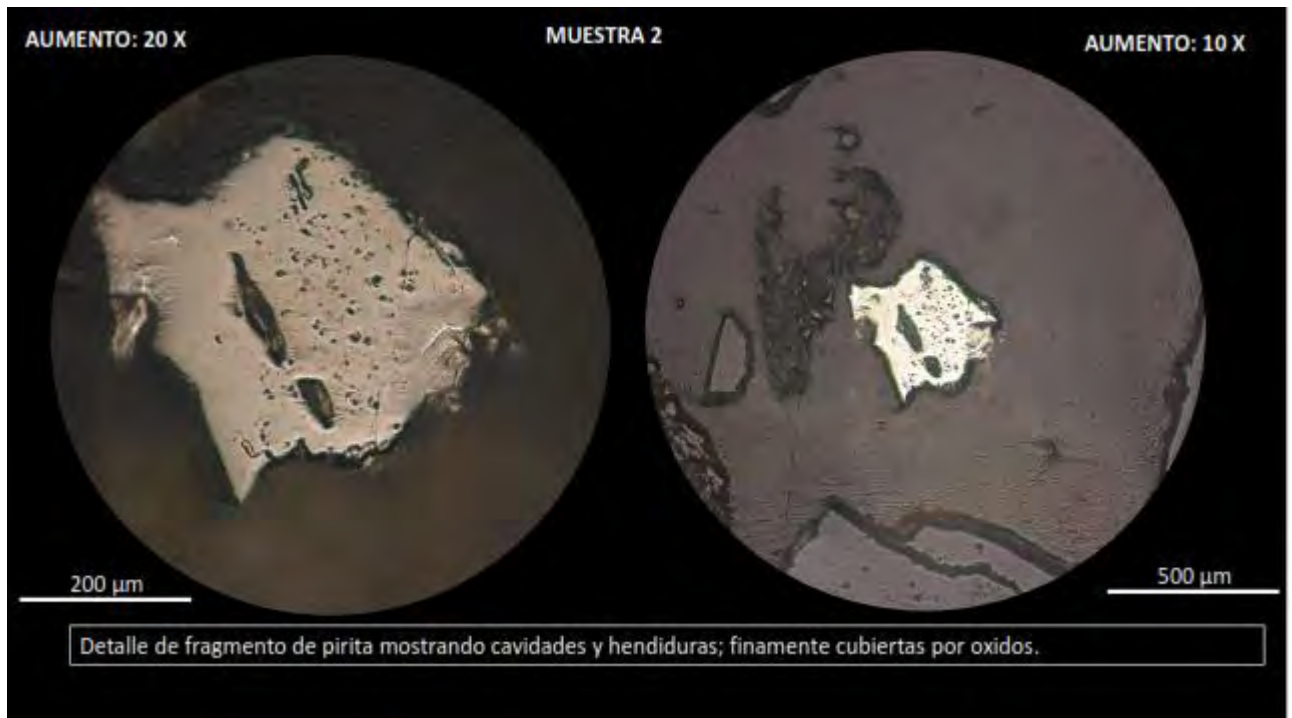
MUESTRA 2

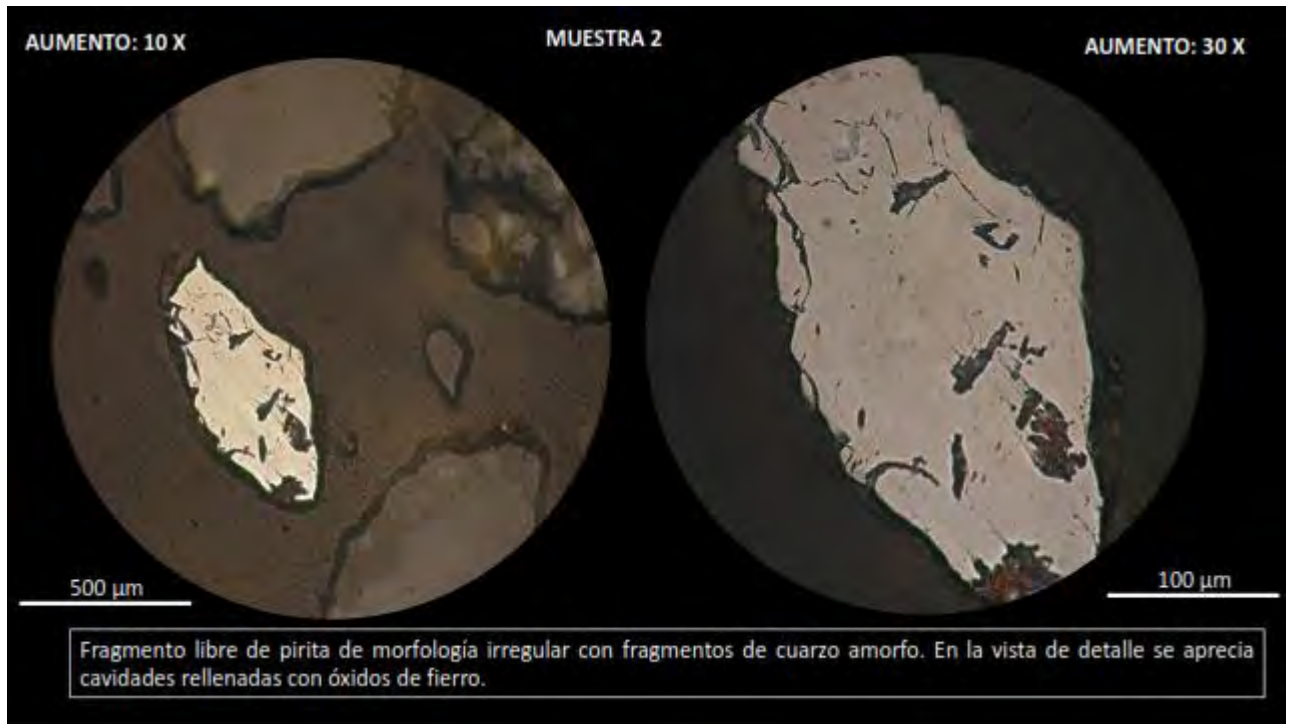
AUMENTO: 40 X



Similar a la visita anterior. Detalle del fracturamiento y relleno de oxidos.









## **Anexo 2**

### **Resultados Análisis químico**

## 2. Reporte del análisis químico de los relaves gravimétricos, la solución PLS y los rípios.



Laboratorios Analíticos del Sur

**Laboratorios Analíticos del Sur**Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com+51 (054) 443294  
+51 (054) 444582  
+51 958 961 254  
+51 958 961 253**INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-22-00151**

Fecha de emisión: 19/03/2022

Página 1 de 1  
Clave generada : EC4FA735

Señores: GERSON VIRGILIO DELGADO FARFAN  
 Dirección: URB SANTA ROSA PSJ. GUDIEL TORRE #165 WANCHAQ CUSCO  
 Atención: GERSON VIRGILIO DELGADO FARFAN  
 Recepción: 18/03/2022  
 Realización: 18/03/2022  
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

**Métodos ensayados**

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

Codigo Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*901
				Au mg/L
SS2200449	MUESTRA 1	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	3,54
SS2200450	MUESTRA 2	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	3,23
SS2200451	MUESTRA 3	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	3,86
SS2200452	MUESTRA 4	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	2,95
SS2200453	MUESTRA 5	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	4,16
SS2200454	MUESTRA 6	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	4,32
SS2200455	MUESTRA 7	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	3,89
SS2200456	MUESTRA 8	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	4,78
SS2200457	MUESTRA 9	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	4,24
SS2200458	MUESTRA 10	No proporcionado por el cliente.	Solución de Goldmax	4,98

fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CP 114425

\*&lt;Valor numérico&gt;=Límite de detección del método, \*&lt;Valor Numérico&gt;=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 sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

Validar el informe  
vis web



Laboratorios Analíticos del Sur

## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú  
[www.laboratoriosanaliticosdelsur.com](http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com)

+51 (054) 443294  
 +51 (054) 444582  
 +51 958 961 254  
 +51 958 961 253

### INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-22-01856

Fecha de emisión: 21/03/2022

Página 1 de 1

Clave generada : EA958BE9

**Señores:** GERSON VIRGILIO DELGADO FARFAN  
**Dirección:** URB SANTA ROSA PSJ, GUDIEL TORRE #185 WANCHAQ, CUSCO  
**Atención:** GERSON VIRGILIO DELGADO FARFAN  
**Recepción:** 18/03/2022  
**Realización:** 18/03/2022  
**Observación:** El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

#### Métodos ensayados

\*552 Método de ensayo a fuego para oro por reconocimiento gravimetría

Codigo Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*552	
				g/M	oz/Tl.
MN22003792	R-1	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	1.56	0.0495
MN22003793	R-2	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	2.85	0.0831
MN22003794	R-3	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	3.23	0.0948
MN22003795	R-4	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	3.36	0.0980
MN22003796	R-5	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	2.62	0.0764
MN22003797	R-6	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	1.68	0.0490
MN22003798	R-7	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	1.08	0.0313
MN22003799	R-8	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	1.13	0.0344
MN22003800	R-9	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	1.70	0.0496
MN22003801	R-10	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	0.96	0.0280

  
 Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
 Diana Yammy Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. 56 Imprenta Guzmán 114425

\*«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 sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) / Datos proporcionados por el cliente, El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Gobierno-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

