

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**



**TESIS**

**OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO DE SUPERFICIE RESPUESTA BOX-BEHNKEN DEL  
PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE MINERAL AURÍFERO DEL VALLE DE SAN JUAN  
DE CHORUNGA-AREQUIPA**

**Presentado por:**

- Br. JIMMY LINARES MONTALVO
- Br. MIGUEL MENDOZA IBARRA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUÍMICO**

**Asesor:**

Mg. URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada:.....

Optimización por Diseño de Superficie Respuesta  
Box - Behnken del Proceso de Lixiviación de Mineral  
Aurífero del Valle de San Juan de Chorusa - Arequipa

presentado por: Jimmy Linares Montalvo con DNI Nro.: 75002624, presentado  
por: Miguel Mendoza Ibarra con DNI Nro.: 76694513 para optar el  
título profesional/grado académico de Ingeniero Químico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el  
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la  
UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o  
título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 28 de Junio de 2024

Firma  
Post firma Uriel Raul Fernandez Bernola

Nro. de DNI 43130855

ORCID del Asesor 0000-0002-9386-702X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:363478608

NOMBRE DEL TRABAJO

**OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO DE SUPERFICIE RESPUESTA BOX-BEHNKEN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE MINERAL AU**

AUTOR

**Jimmy Linares**

RECUENTO DE PALABRAS

**27400 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**142217 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**181 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 28, 2024 11:29 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 28, 2024 11:32 AM GMT-5**

### ● 5% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

## AGRADECIMIENTO

Mi especial consideración a los ingenieros Nilton Portocarrero, Daniel Morales y Ricardo Rosas por permitirme ser parte de su grupo de investigación.

A Nazario Granda por su guía y buenos consejos.

A nuestro asesor y amigo Uriel Fernández por compartir sus conocimientos e ideas que han encaminado este proyecto.

## DEDICATORIA

A mi virtuosa madre, por ser el máximo ejemplo de responsabilidad, perseverancia y resiliencia.

Gracias por alentar todos los proyectos en los que me he embarcado.

*Jimmy Linares Montalvo*

## AGRADECIMIENTO

A mis mentores y profesores que, a lo largo de mi carrera, han dejado una huella indeleble en mi formación académica. Sus enseñanzas y guía han sido la base de mi desarrollo. A mis colegas y amigos, quienes compartieron este viaje académico conmigo. Sus discusiones, ideas y apoyo emocional han enriquecido mi experiencia y han hecho que este proceso sea más llevadero.

## DEDICATORIA

A mi amada familia sobre todo a mi Madre, cuyo amor incondicional ha sido mi refugio y fuerza a lo largo de este viaje. A Daniel Mendoza, aunque físicamente ya no esté con nosotros, su espíritu y sabiduría siguen iluminando mi camino. Cada logro de este trabajo está impregnado con el amor y enseñanzas que dejó en nuestro corazón. Gracias por ser la inspiración que me impulsa a alcanzar mis metas, incluso cuando ya no podemos compartir juntos estos momentos. Este logro es dedicado con amor y gratitud a la memoria de mi querido Padre.

*Miguel Mendoza Ibarra*

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad maximizar la recuperación de oro en el proceso de cianuración de mineral aurífero proveniente del Valle de San Juan de Chorunga -Arequipa usando el diseño de superficie respuesta Box Behnken. Para ello se realizó 15 experimentos por triplicado

El mineral muestreado fue pulverizado a malla # 200 con un 77.4% de pasante, las pulpas con densidades de 1200, 1350 y 1500 g/l, estas fueron alcalinizadas a pH 11 con solución de hidróxido de sodio al 10% para añadir solución de cianuro de sodio al 30% como agente lixivante a concentraciones de 100, 250 y 400 ppm y finalmente se agitó variando la velocidad en 16, 33 y 50 rpm por 12 horas.

Se determinó que la variable más significativa es la concentración de cianuro ya que disminuir su valor influye positivamente en el proceso. La densidad de pulpa también es significativa e influye positivamente si su valor decrece, no obstante, la velocidad de agitación no tiene ningún efecto en la recuperación de oro.

La investigación concluye que: 100 ppm de cianuro de sodio, pulpa con densidad 1200 g/l y agitación a 16 rpm permiten recuperar 99.03% de oro siendo esta la respuesta optima. La curva cinética experimental obtenida indica que a partir de la sexta hora ya se tienen altas recuperaciones y el proceso alcanza el equilibrio a las 12 h ajustándose a un modelo cinético de segundo orden con un valor de  $R^2$  igual a 0.98

**PALABRAS CLAVE: Optimización, Lixiviación, recuperación de oro, Box - Behnken**

## GLOSARIO

- **Conminución:** Fragmentar minerales para reducir su granulometría.
- **Cianuración:** Proceso hidrometalúrgico que solubiliza metales preciosos debido a la acción del cianuro.
- **Copelación:** Proceso oxidativo a altas temperaturas para separar los metales nobles contenidos en régulos de plomo.
- **Divisor Johnes:** Tolva seccionada que divide a partes iguales los materiales los minerales manteniendo la representatividad de la muestra.
- **Ensayo al fuego:** método químico basado en tratamiento térmico de minerales y reactivos en cantidades adecuadas para determinar la cantidad de oro y plata presentes en una muestra.
- **Fuerza de cianuro:** Concentración de cianuro de sodio expresada en g/l o ppm.
- **Granulometría:** Clasificación de mineral por el tamaño de grano o partícula.
- **Ley ensayada:** es el contenido de oro expresado en g/TM presente en una muestra mineral obtenido por el método de análisis químico “Fire Assay”.
- **Muestreo:** método que permite obtener una parte representativa de una población o universo con el fin de hacer estudios.
- **Optimización:** son técnicas que permiten obtener el mejor resultado mediante el estudio y modificación de los parámetros que influyen en el proceso estudiado.
- **Pala Jiss:** pala metálica de tamaño variable con paredes laterales usada para realizar muestreos por incremento.

- **Partición:** Tratamiento con ácido nítrico para eliminar plata y otros metales de la aleación doré purificando el oro presente en esta.
- **Precipitación de soluciones:** tratamiento químico de soluciones pregnant que forma solidos auríferos para analizarlos posteriormente por ensayos al fuego.
- **Pulpa mineral:** Es la suspensión de minerales finos en agua cuyas características depende de la proporción entre ellos.
- **Solido de cola:** también llamado mineral ripio, es aquel con bajo o nulo contenido de metales preciosos porque han pasado por procesos metalúrgicos.
- **Solución pregnant:** Solución cianurada rica en metales preciosos por efecto de lixiviación. Sus unidades son g/m<sup>3</sup> o ppm.
- **Titulación:** procedimiento volumétrico cuantitativo para determinar la cantidad de cianuro libre en solución.
- **Variable respuesta:** unidad estudiada o medida en cada experimento.

1.	Introducción .....	1
1.1	Planteamiento del Problema.....	1
1.2	Formulación del Problema. ....	2
1.2.1	Problema General.....	2
1.2.2	Problemas Específicos.....	2
1.3	Justificación.....	2
1.4	Objetivos de la Investigación .....	3
1.4.1	Objetivo General. ....	3
1.4.2	Objetivos Específicos .....	3
1.5	Delimitación del Estudio.....	4
1.5.1	Delimitación Espacial .....	4
1.5.2	Delimitación Temporal .....	4
2.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	4
2.1	Antecedentes de la Investigación .....	4
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....	5
2.1.3	Antecedentes Locales.....	7
2.2	Marco Conceptual .....	7

2.2.1	El oro .....	7
2.2.2	Minería Aurífera en el Perú.....	8
2.2.3	Distribución geoquímica del oro en el Valle San Juan de Chorunga.....	11
2.2.4	Procesos de extracción de oro en minerales.....	14
2.2.5	Proceso de lixiviación en tanques agitados .....	16
2.2.6	Factores que influyen en el proceso de lixiviación por agitación .....	17
2.2.7	Ensayos Químico metalúrgicos de oro.....	26
2.2.8	Optimización .....	28
2.2.9	Cinética.....	38
2.3	Descripción del proceso de Cianuración.....	39
2.4	Modelo Pseudo primer Orden .....	39
2.5	Hipótesis.....	40
2.5.1	Hipótesis General .....	40
2.5.2	Hipótesis Específicas.....	41
2.6	Variables e Indicadores .....	41
2.6.1	Identificación de Variables.....	41
2.6.2	Parámetros.....	42
2.6.3	Operacionalización de variables.....	43
3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS .....	44
3.1	Alcance del estudio .....	44

3.1.1	Tipo de Investigación .....	44
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación.....	44
3.2	Población.....	44
3.3	Muestra.....	45
3.4	Diseño de investigación .....	45
3.4.1	Supuestos de normalidad.....	47
3.4.2	Análisis de la influencia de variables.....	47
3.4.3	Diseño de superficie respuesta Box-Behnken.....	48
3.5	Equipos.....	50
3.6	Materiales .....	52
3.7	Reactivos .....	53
3.8	Equipos de Protección Personal (EPP).....	53
3.9	Metodología experimental.....	57
3.9.1	Procedimiento de Seguridad y Salud Ocupacional .....	58
3.9.2	Muestreo y acondicionamiento del mineral .....	59
3.9.3	Pruebas de Lixiviación .....	63
3.9.4	Filtración .....	64
3.9.5	Determinación de la cantidad de oro.....	66
3.9.6	Análisis de datos.....	68

3.9.7	Cinética de lixiviación.....	68
4.	Resultados.....	70
4.1	Resultados del muestreo y acondicionamiento del mineral .....	70
4.1.1	Determinación de la densidad de pulpa.....	72
4.1.2	Acondicionamiento y cianuración.....	74
4.2	Influencia de las variables.....	77
4.2.1	Análisis estadístico.....	83
4.3	Optimización del proceso de lixiviación.....	94
4.4	Cinética de lixiviación.....	102
4.4.1	Ajuste a modelo de Pseudo primer orden.....	104
4.4.2	Ajuste a modelo de Pseudo segundo orden.....	106
	Conclusión .....	111
	Recomendaciones .....	112
	Bibliografía.....	113
	Anexos .....	124
	Anexo 1: Muestreo y acondicionamiento de mineral. ....	126
	Anexo 2: Recuperación de oro.....	135
	Anexo 3: Cinética de Lixiviación .....	142
	Anexo 4: Formatos.....	136

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Reporte Estadístico Anual de Producción Nacional de Oro.</i>	10
Figura 2	<i>Reporte Estadístico de Producción Nacional de Oro.</i>	10
Figura 3	<i>Geolocalización del Valle de San Juan de Chorunga.</i>	11
Figura 4	<i>Muestras Geológicas extraídas de las labores mineras en el Valle de san juan de Chorunga.</i>	12
Figura 5	<i>Veta aurífera de la mina Esperanza en el Valle de San Juan de Chorunga.</i>	13
Figura 6	<i>Comparación del método de cianuración y amalgamación en la recuperación de oro.</i>	15
Figura 7	<i>Especiación de cianuro y ácido cianhídrico en función del pH.</i>	21
Figura 8	<i>Gráficos de superficie respuesta.</i>	29
Figura 9	<i>Esquema de los elementos del MSR en su contexto amplio.</i>	30
Figura 10	<i>Representación del Diseño Box-Behnken para tres factores.</i>	33
Figura 11	<i>Diagrama de Bloques general de la Investigación.</i>	58
Figura 12	<i>Diagrama de bloques de muestreo y preparación mecánica.</i>	59
Figura 13	<i>Diagrama de flujo de pruebas metalúrgicas</i>	65
Figura 14	<i>Diagrama de Bloques del proceso de ensayo “Fire Assay”</i>	67
Figura 15	<i>Curva de secado de mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga</i>	70
Figura 16	<i>Recolección y Chancado secundario</i>	71
Figura 17	<i>Chancado terciario y pulverización.</i>	71
Figura 18	<i>Alcalinización de pulpa</i>	75
Figura 19	<i>Reactivos de alcalinización y cianuración</i>	75
Figura 20	<i>Agitación de las pruebas de lixiviación</i>	77

Figura 21	<i>Recuperación de oro ensayada en las tres corridas experimentales</i>	81
Figura 22	<i>Consumo de Hidróxido de Sodio</i>	82
Figura 23	<i>Consumo de Cianuro de Sodio</i>	83
Figura 24	<i>Gráfico de residuos</i>	84
Figura 25	<i>Histograma</i>	86
Figura 26	<i>Gráfico de residuos vs concentración de cianuro, densidad de pulpa y agitación</i>	87
Figura 27	<i>Diagrama de Pareto estandarizado para la recuperación de oro</i>	92
Figura 28	<i>Gráfica de efectos de variables en la recuperación de oro</i>	93
Figura 29	<i>Grafica de superficie respuesta estimada</i>	94
Figura 30	<i>Grafica de contorno para la recuperación de oro</i>	95
Figura 31	<i>Cinética experimental de recuperación</i>	103
Figura 32	<i>Comparación de curvas cinéticas experimentales</i>	104
Figura 33	<i>Curva cinética de recuperación ajustada a un modelo de Pseudo primer orden</i>	106
Figura 34	<i>Ajuste ecuación pseudo segundo orden</i>	109
Figura 35	<i>Efecto de la concentración de oxígeno en cianuración de oro con KCN al 0.25%</i>	124
Figura 36	<i>Curvas granulométricas</i>	132
Figura 37	<i>Operaciones de Fire Assay</i>	141
Figura 38	<i>Oro obtenido por el método Fire Assay</i>	141
Figura 39	<i>Antecedentes de curva cinética</i>	143
Figura 40	<i>Plantilla excel para el calculo de recuperaciones</i>	131

Figura 41	<i>Laboratorio usado para las pruebas de lixiviación.</i>	131
Figura 42	<i>Equipos de chancado y pulverización.</i>	132
Figura 43	<i>Análisis granulométrico.</i>	132
Figura 44	<i>Obtención de los sólidos de cola.</i>	133
Figura 45	<i>Zona de titulación de soluciones cianuradas.</i>	133
Figura 46	<i>Reactivos Utilizados.</i>	134
Figura 47	<i>Titulación de soluciones cianuradas.</i>	134
Figura 48	<i>Filtración de pulpas.</i>	135
Figura 49	<i>Formatos de titulación en el proceso de lixiviación.</i>	136
Figura 50	<i>Formatos IPERC.</i>	147

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Propiedades fisicoquímicas del oro.</i>	8
Tabla 2	<i>Análisis mineralógico referencial de las vetas del Valle de San Juan de Chorunga.</i>	14
Tabla 3	<i>Clasificación de minerales según su ley de oro.</i>	17
Tabla 4	<i>Clasificación de minerales según la distribución de metales.</i>	18
Tabla 5	<i>Tamaño de partícula según el número de tamiz ASMT E - 11.</i>	19
Tabla 6	<i>Disponibilidad de cianuro libre.</i>	22
Tabla 7	<i>Disolución de oxígeno en agua.</i>	25
Tabla 8	<i>Efecto de oxígeno en la recuperación de oro.</i>	26
Tabla 9	<i>Corrida experimental de tres factores usando el diseño Box-Behnken.</i>	35
Tabla 10	<i>Variables y niveles de investigación.</i>	41
Tabla 11	<i>Operacionalización de Variables.</i>	43

Tabla 12	<i>Esquema experimental de investigación.</i>	46
Tabla 13	<i>Número de experimentos aplicando el diseño de superficie respuesta Box-Behnken.</i>	49
Tabla 14	<i>Equipos empleados en la investigación.</i>	50
Tabla 15	<i>Equipos de protección personal empleados</i>	53
Tabla 16	<i>Descripción y panel fotográfico de los Equipos de Protección Personal</i>	57
Tabla 17	<i>Estimación de mineral necesario para ensayos químicos y metalúrgicos.</i>	60
Tabla 18	<i>Densidad del Cuarzo Blanco</i>	62
Tabla 19	<i>Plan para la determinación experimental de la cinética de lixiviación.</i>	69
Tabla 20	<i>Análisis Granulométrico de mineral pulverizado</i>	72
Tabla 21	<i>Datos para la determinación de la densidad del mineral.</i>	73
Tabla 22	<i>Variación de las Densidades de Pulpa Según la Cantidad de Agua</i>	74
Tabla 23	<i>Volumen de Solución de Hidróxido de Sodio al 10% para alcalinizar pulpas</i>	74
Tabla 24	<i>Volumen de solución cianurada al 30% a añadir según la densidad de pulpa.</i>	76
Tabla 25	<i>Ley de Cabeza para las Corridas Experimentales</i>	78
Tabla 26	<i>Reporte de leyes de cola en g/TM</i>	79
Tabla 27	<i>Recuperación de oro ensayada en las 3 corridas experimentales</i>	80
Tabla 28	<i>Comparación entre recuperación y residuos</i>	84
Tabla 29	<i>Prueba de Shapiro Wilks.</i>	85
Tabla 30	<i>Prueba de Bartlett</i>	87
Tabla 31	<i>Comparación Residuos vs Concentración de Cianuro</i>	88
Tabla 32	<i>Comparación Residuos vs Densidad de pulpa</i>	89
Tabla 33	<i>Comparación Residuos vs Agitación</i>	89

Tabla 34	<i>Análisis de Varianza (ANOVA) para la recuperación de oro</i> .....	90
Tabla 35	<i>Niveles óptimos para cada factor</i> .....	96
Tabla 36	<i>Coefficiente de regresión para recuperación</i> .....	97
Tabla 37	<i>Datos para coeficiente de regresión para recuperación por Método de regresión Cuadrática.</i> .....	99
Tabla 38	<i>Coefficiente de regresión para recuperación por Método de regresión Cuadrática</i> .....	100
Tabla 39	<i>Ensayos para determinar la curva cinética</i> .....	102
Tabla 40	<i>Datos para la Cinética experimental Pseudo Primer Orden</i> .....	105
Tabla 41	.....	108
Tabla 42	<i>Capacidades de adsorción para la recuperación experimental y modelada en la ecuación de pseudo segundo orden.</i> .....	110
Tabla 43	<i>Densidad del Cuarzo Blanco</i> .....	124
Tabla 44	<i>Disolución de oxígeno a distintas presiones</i> .....	125
Tabla 45	<i>Serie de Tamices Estándar USA - ASTM E - 11</i> .....	126
Tabla 46	<i>Antecedentes de sacado del mineral estudiado</i> .....	127
Tabla 47	<i>Resultado de Pruebas de Secado de Mineral</i> .....	128
Tabla 48	<i>Porcentaje de humedad de muestras minerales.</i> .....	129
Tabla 49	<i>Pruebas de pulverización de equipos pulverizadores</i> .....	130
Tabla 50	<i>Prueba de tamices de chancado terciario</i> .....	131
Tabla 51	<i>Prueba de tamices a distintos tiempos de pulverización</i> .....	131
Tabla 52	<i>Porcentaje de mineral pasante en prueba de tamices en distintos tiempos</i> ...	132
Tabla 53	<i>Calculo para determinar el volumen de agua en pulpa.</i> .....	133

Tabla 54	<i>Volúmenes de reposición de solución de cianuro de sodio al 30%.</i>	134
Tabla 55	<i>Resultados de Leyes de Solución y Cola de la primera corrida experimental</i>	135
Tabla 56	<i>Consumo de Reactivos de Primera Corrida Experimental</i>	136
Tabla 57	<i>Resultados de Leyes de Solución y Cola de la segunda corrida experimental.</i>	137
.....		
Tabla 58	<i>Consumo de Reactivos, Segunda Corrida Experimental</i>	138
Tabla 59	<i>Resultados de Leyes de Solución y Cola tercera corrida experimental.</i>	139
Tabla 60	<i>Consumo de Reactivos, Tercera Corrida Experimental</i>	140
Tabla 61	Datos de ensayos para determinar la curva cinética de lixiviación	142
Tabla 62	<i>Antecedentes cinéticos de lixiviación</i>	143
Tabla 63	<i>Recuperación y residuos</i>	144



# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Planteamiento del Problema**

La planta de beneficio ubicada en el valle de San Juan de Chorunga, distrito de Rio Grande, Provincia de Condesuyos, Departamento de Arequipa. Conocida por concentrar gran actividad minera artesanal que comercializa mineral aurífero. Entre ellas destaca Secocha, Chalhuane, Alto Molino, Jarana, Caravelí, etc. Sus actividades radican en recuperar Doré por el método de lixiviación/adsorción en tanques agitados.

La planta concentradora trata minerales de alta ley dejando oro acumulado en las relaveras (J. Cruz & Goicochea, 2019). Esto podría deberse a que el mineral extraído de las minas del valle de San Juan de Chorunga ha sido procesado bajo parámetros empíricos debido a su ley promedio de 9 g/TM y poco tonelaje, obteniendo recuperaciones máximas 85% consideradas bajas para este proceso de extracción. Sin embargo, el aumento de inversión en operaciones de explotación minera se refleja en la cantidad de mena que se extrae de las labores Esperanza, Millonaria, Mercedes y Ciento Cincuenta. Adicionalmente la ley del mineral ha incrementado considerablemente. Es por ello que es necesario investigar los parámetros de proceso que permitan optimizar los parámetros de lixiviación del mineral aurífero para maximizar la extracción de oro y consecuentemente incrementar el beneficio económico.

## **1.2 Formulación del Problema.**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cuáles son los parámetros óptimos que incrementaran el porcentaje de recuperación de oro en el valle San Juan de Chorunga utilizando el diseño de superficie respuesta Box-Behnken?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cómo se muestreará y acondicionará el mineral para las pruebas de lixiviación del mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga?
- ¿Cuál es el efecto de la concentración de cianuro, densidad de pulpa y velocidad de agitación en el proceso de lixiviación del mineral aurífero del Valle de San Juan de Chorunga?
- ¿Cómo se determinarán los valores óptimos de concentración de cianuro, densidad de pulpa y velocidad de agitación que permitan una mayor recuperación de oro?
- ¿Cuál es la cinética de recuperación de oro aplicando los parámetros óptimos del proceso de lixiviación del mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga?

## **1.3 Justificación**

El presente trabajo está orientado a identificar los puntos ineficientes de lixiviación de la línea de proceso “Planta de Beneficio” que limitan o retrasan la recuperación de doré pues está por debajo del 85%. Para ello se propondrá mejoras técnicas que incrementen la recuperación mediante la reducción de insumos, modificación de tiempos de operación u operacional con el fin de maximizar la eficiencia del proceso promoviendo de esta manera la investigación de otras líneas de proceso como es la de Acopio y Arenillas. La información generada permitirá capacitar a profesionales y personal técnico contribuyendo también a generar información que sirva como

referencia o antecedente frente a problemas de proceso que podrían presentarse a futuro. Finalmente, la mayor recuperación de mineral valioso incrementará el beneficio económico.

Desde un punto de vista social, a mayor recuperación de minerales genera un incremento económico de la actividad minera beneficiará económicamente a todos los colaboradores de las distintas áreas involucradas directa o indirectamente. También implica la creación de nuevos puestos de trabajo y el mejoramiento de calidad de vida de los pobladores del Valle de San Juan de Chorunga y zonas aledañas del distrito de Rio Grande gracias al mejoramiento de carreteras e infraestructura, seguridad, redes de comunicación, entre otros.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General.**

- Optimizar por diseño de superficie respuesta Box-Behnken el proceso de lixiviación de mineral aurífero del Valle de San Juan de Chorunga – Arequipa.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Muestrear y acondicionar el mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga para las pruebas de lixiviación.
- Evaluar el efecto de la concentración de cianuro, densidad de pulpa y velocidad de agitación en el proceso de lixiviación de mineral aurífero del Valle de San Juan de Chorunga.
- Determinar los valores óptimos de concentración de cianuro, densidad de pulpa y velocidad de agitación mediante el diseño Superficie Respuesta - Box Behnken.

- Determinar experimentalmente la cinética de recuperación de oro con los parámetros óptimos de proceso de lixiviación.

## **1.5 Delimitación del Estudio**

### **1.5.1 Delimitación Espacial**

El lugar donde se realizará la presente investigación está ubicado en el valle de San Juan de Chorunga distrito de Rio Grande, provincia de Condesuyos a 470 m.s.n.m. cuyas coordenadas geográficas son 15°54'17.2"S 73°03'01.1" W. Las corridas experimentales de lixiviación con cianuro de sodio se realizarán en el área de "Laboratorio de Investigación Metalúrgica" mientras que la preparación mecánica de mineral y ensayos al fuego para la determinación de oro se realizarán en el área de "laboratorio Químico". dentro de la Planta Concentradora de la zona.

### **1.5.2 Delimitación Temporal**

El presente trabajo de investigación ha sido planificado desde marzo del 2023 y fue desarrollado a lo largo del segundo semestre del presente año.

## **2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

#### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

Gómez (2019) en su tesis titulada "Método De Cianuración para la Recuperación de plata en el mineral "Caimán - Óxidos" del Grupo Gorminmets R.L de C.C" realiza un estudio sobre la extracción de plata por cianuración en botellas delimitando las variables de tiempo de molienda, concentración de cianuro, tiempo de agitación, consumo de reactivos. El autor recuperó el 100% de plata usando una dosis de cianuro de sodio de 1.328 g por cada 400 g de mineral pulverizado a malla # 230 en un tiempo de lixiviación de 78 horas.

Ruiz et al. (2019) en su publicación titulada “Modelamiento estadístico y optimización del proceso de cianuración de un mineral aurífero” Buscan identificar las condiciones óptimas de operaciones de minerales auríferos para alcanzar una alta eficiencia de recuperación del metal precioso mediante análisis factorial  $2^k$  con tres variables y un punto central además de aplicar el método de superficie de respuesta. Para la experimentación de cianuración en botellas, el autor establece como variables la granulometría, concentración de cianuro de sodio y consumo de CaO, además establece una pulpa compuesta por 40% de mineral. En este trabajo los autores concluyen que la granulometría adecuada para la cianuración en botellas es de  $-75 \mu\text{m}$  (malla # 200) con una dosis de cianuro de sodio de  $2.5 \text{ g/m}^3$  lixiviando el mineral durante 7 h. Estas condiciones han permitido una recuperación de oro máxima de 89.35%.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Cruz & Choquecota (2022) en su informe técnico “Pruebas de cianuración de mineral PB” realiza una corrida experimental con el objetivo de determinar la cinética de recuperación de oro y el consumo de reactivos (NaOH y NaCN) para ello, utiliza 06 muestras de 400 g de mineral pulverizados a malla # -200 al 80%. Prepara la pulpa con 500 ml de agua, acondiciona a pH 11 usando solución de NaOH al 10% y añade cianuro a concentración de 0.43 mg/l el tiempo establecido es de 4 h, 12 h, 24 h, 36 h, 48 h y 72h. Finalizada la corrida, se obtiene una recuperación ensayada promedio de 82.86% determinando también que en promedio se consume 2.5 kg/TM de NaOH y 1.47 kg/TM de NaCN.

Ponce (2022) En la investigación “Evaluación de la recuperación de oro y plata en minera Tunkyro S.A.C.” busca obtener las condiciones óptimas para procesar eficientemente el cambio mineralógico de menas polimetálicas para solucionar el problema tecnológico que dificulta la

recuperación de metales. Para ello, el autor usa 3150 g de mineral con ley Au 4-6 g/TM y Ag 20 g/TM pulverizada a # 200 mallas al 92% para realizar 09 ensayos metalúrgicos a pH de 10.5, 12 y 13 usando NaOH como agente alcalinizante con 300ppm de cianuro de sodio. En su trabajo concluye que la lixiviación por agitación en tanques a pH 10.5 durante 72 h permite recuperar 90.48% de oro y 78.06% de plata. Concluye aclarando que, si se aumenta el pH 13, se podrá recuperar más plata (91.64%), sin embargo, esto disminuirá el porcentaje de adsorción de oro a 71.4%. Determinó además que la pulpa debe agitarse por 72 h consumiendo 1.72k g/TM de NaCN y 1.37 kg/TM de NaOH para mantener un pH 10.5.

Apfata (2017) en su trabajo “Optimización de la recuperación de Au en la Planta de Beneficio de la Compañía Refinadora Del Pacífico S.A.C.” usa mineral aurífero proveniente de Casma – Ancash de ley 5.895 g/TM estableciendo densidades de pulpa iguales a 1380 y 1400, concentración de cianuro de sodio de 0.22 – 0.27 y granulometría como variables para incrementar la recuperación de oro mediante 8 pruebas de cianuración usando diseño factorial  $2^k$ . El autor logro optimizar la recuperación de oro de 89.54% a 92.25% usando una densidad de pulpa de 1380 g/l y un porcentaje de cianuro de sodio igual a 0.27%. Concluye que la variable más importante es la granulometría, la cual es del 82% de pasante a malla # 200; el efecto de la densidad de pulpa es muy importante pues mientras mayor sea su valor disminuye la recuperación a 90%.

Mendo (2017) en su trabajo “Efecto de la concentración de cianuro y granulometría en un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación” investiga la influencia de la granulometría y concentración de cianuro en el proceso de lixiviación de minerales oxidados. Para ello, realiza pruebas en botellas proponiéndose concentraciones de cianuración de 400, 600 y 800 ppm con tres niveles de granulometría # 100, # 140 y # 200. De todas las pruebas,

el autor obtiene el mejor resultado con 800ppm de cianuro a malla # 140 recuperando el 91.47% de oro. Por último, concluye que la granulometría y concentración de cianuro si afectan la recuperación de oro y que su recuperación es baja según otros análisis debido a la posible presencia de componentes cianicidas que interfieren en la lixiviación.

### **2.1.3 Antecedentes Locales**

Gomez & Morales (2012) en su trabajo “Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales de Au - Ag en la Compañía minera Ares” ensayaron 11 muestras minerales de ley 6.0 g/TM de Au y 156.0 g/TM con granulometría de 74% - 270 mallas por lixiviación con agitación mecánica considerando como variables la concentración de Cianuro de sodio (NaCN), Nitrato de plomo ( $Pb(NO_3)_2$ ) con valores óptimos de 0.30% y 190 g/TM respectivamente a pH 10 - 11. Con estas condiciones lograron recuperar 97.60% de Au y 88.63% de Ag siendo superiores a la recuperación con los parámetros actuales de planta (96.0% Au y 87.0% Ag). En esta investigación se determinó que las variables más influyentes son las concentraciones de cianuro y la presencia de plomo.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 El oro**

El oro es un metal que se encuentra identificado en la tabla periódica de los elementos químicos con el símbolo Au. Es un metal en transición no ferromagnético altamente estable, cuyas características de ductilidad y maleabilidad lo hacen idóneo para la fabricación de una variedad de objetos, ya que puede fundirse y recuperar su dureza al enfriarse. El oro normalmente suele encontrarse en depósitos aluviales subterráneas en forma de pepitas, pequeñas acumulaciones y

partículas dispersas en varios tipos de rocas (Rios Paredes, 2012), ya sea en estado de pureza o junto a otros minerales (Ondarse Alvarez, 2018). Sus propiedades se describen a continuación:

**Tabla 1**

*Propiedades fisicoquímicas del oro.*

Número atómico	79
Masa atómica	196,9655 g.mol <sup>-1</sup>
Electronegatividad según Pauling	2.4
Densidad	19,3 g.cm <sup>-3</sup> a 20 °C
Punto de fusión	1062 °C
Punto de ebullición	2000 °C
Radio de Vander Waals	0,144nm
Radio iónico	0,137 nm (+1)
Isótopos	7
cáscara electrónica	[ Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup>
Energía de la primera ionización.	888 kJ. Mol <sup>-1</sup>
Energía de la segunda ionización.	1974,6 kJ. Mol <sup>-1</sup>
Potencial estándar	+1,68V (Au <sup>+</sup> /Au)

*Nota.* (Lenntech, 2010)

### 2.2.2 Minería Aurífera en el Perú

En muchas regiones, la actividad minera, incluida la minería de oro, es una fuente importante de empleo y oportunidades para las comunidades locales. Perú también cuenta con importantes reservas de oro, lo que significa que el país tiene un recurso valioso que puede ser utilizado para respaldar su economía y fortalecer su posición financiera (Glave, 2007). La exportación de oro también tiene un impacto en los ingresos fiscales del gobierno peruano. A

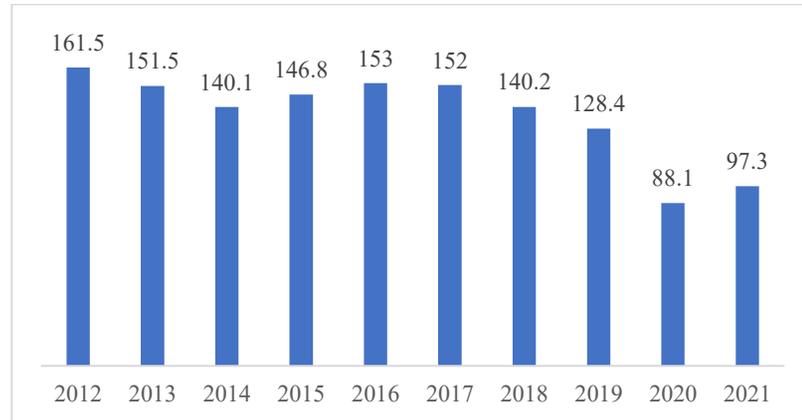
través de impuestos y regalías, el país obtiene beneficios económicos directos de la producción y exportación de oro.

La minería en el Perú es una actividad económica de gran importancia que ha estado presente durante muchos años. Perú es uno de los principales productores de minerales a nivel mundial y cuenta con una gran variedad de metales como cobre, oro, plata, zinc, plomo, estaño, entre otros. La industria minera desempeña un papel crucial en la economía peruana, generando empleo, ingresos fiscales y divisas para el país.

La producción de oro correspondiente al año 2021 alcanzó un volumen de 97.3 TMF (2.9% de la producción mundial). A nivel latinoamericano se posicionó como el segundo mayor productor del metal precioso, superado solo por México quien ocupó el primer lugar y superando a Brasil quien quedó en tercera ubicación. A nivel mundial, el Perú se posicionó en el décimo lugar. A nivel nacional, la producción de oro registró un aumento de 10.5% destacando 4 regiones en la producción de este material precioso, tenemos en primer puesto la libertad que se posiciona como líder en la producción aurífera aportando el 31.9% de la producción nacional (MIEM, 2021). Los reportes anuales de producción de oro nacional y departamental están descritos en las siguientes figuras.

### Figura 1

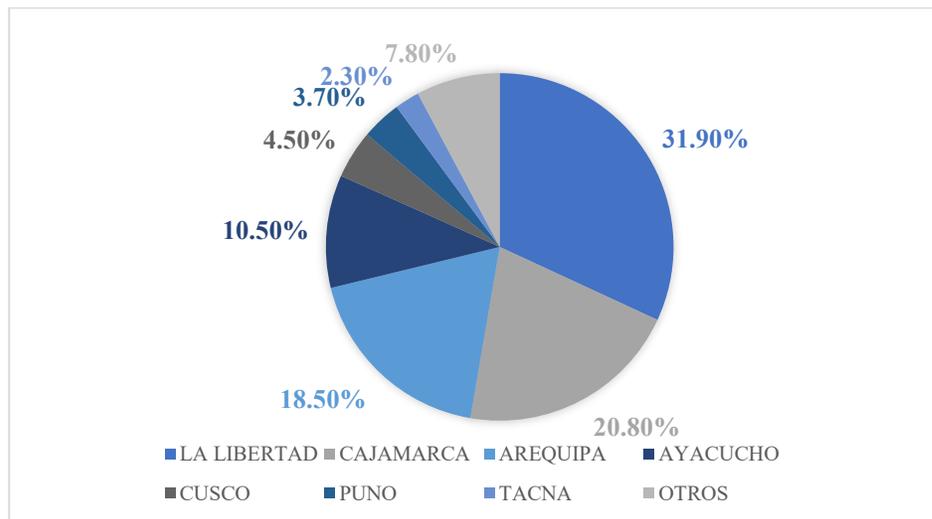
Reporte Estadístico Anual de Producción Nacional de Oro.



Nota. La siguiente ilustración reporta el incremento anual de Producción aurífera durante el periodo 2012 – 2021. (MINEM, 2021).

### Figura 2

Reporte Estadístico de Producción Nacional de Oro.



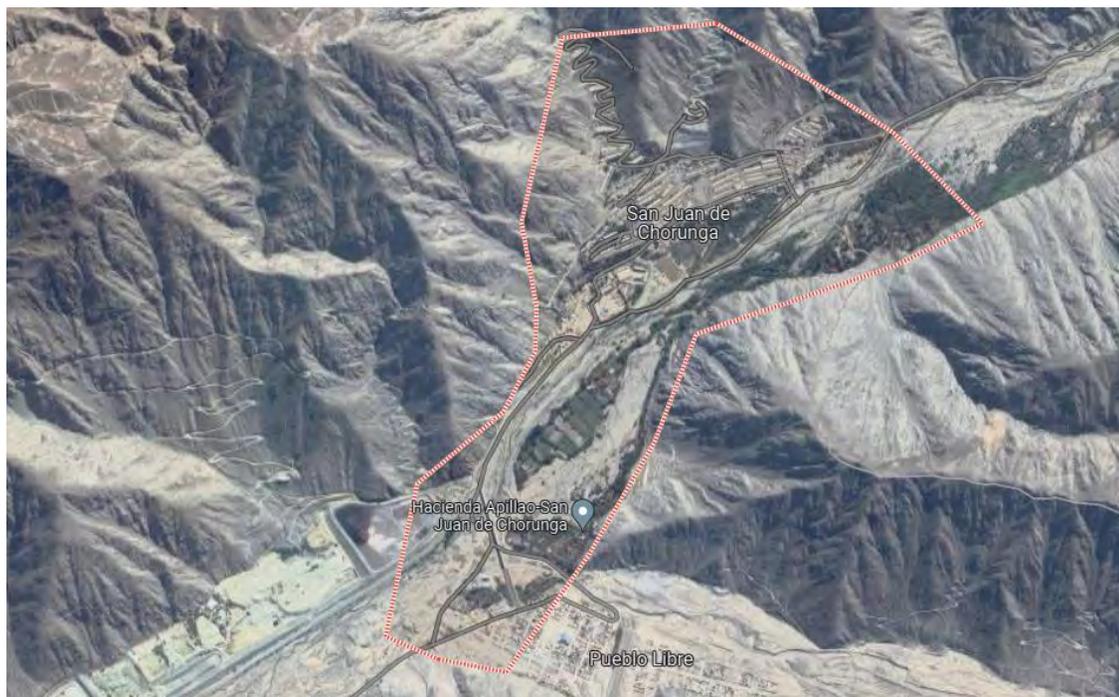
Nota. La figura representa la distribución porcentual por regiones siendo la Libertad el mayor productor aurífero del país. (MINEM, 2021).

### 2.2.3 Distribución geoquímica del oro en el Valle San Juan de Chorunga

El valle de San Juan se ubica a la margen derecha del río Chorunga aproximadamente a 470 m.s.n.m. en el distrito de Río Grande, Provincia Condesuyos – Arequipa. La zona aurífera pertenece a la franja geológica Nazca-Ocoña y presenta tres sistemas de fracturamiento rellenas de cuarzo blanco – grisáceo (Jordán & Merma, 2019) caracterizada por tener en su mayoría compuestos asociadas a óxidos de hierro o sulfuros (Valdivia, 2017) en matriz de cuarzo donde se contiene el oro libre. La figura 3 da una referencia de las zonas de explotación minera dentro del Valle.

#### Figura 3

*Geolocalización del Valle de San Juan de Chorunga.*



*Nota.* La figura 3 muestra el área en la cual se desarrollan las actividades de explotación minera aurífera. (Google, 2023).

Los minerales comunes en esta zona son la pirita aurífera ( $\text{FeS}_2$ ), marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), calcopirita diseminada ( $\text{CuFeS}_2$ ), Pirrotita, calcita, molibdenita, Arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), galena ( $\text{PbS}$ ) y mínimamente óxidos de hierro (S. Cruz, 2022). Las zonas aledañas presentan minerales oxidados donde es común encontrar Limonita ( $\text{FeO}(\text{OH})\text{nH}_2\text{O}$ ), Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y Pirolusita ( $\text{Mn}_4^+\text{O}_2$ ) (Huaco, 2017). Además, Galloso et al. (2008) afirma que las vetas más importantes se extienden de NO - SE, NE - SO y E- O. además, existen numerosos diques andesíticos que afloran y donde se puede encontrar depósitos de Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo). Escobar (1994) indica que las vetas con mineralización aurífera presentan importantes ensambles mineralógicos de calcopirita/esfalerita/galena/oro/cuarzo, oro/pirita/cuarzo, y limonita/óxido de manganeso/oro/cuarzo. Las características y apariencia del mineral extraído de las vetas del valle de San Juan de Chorunga se evidencian en las figuras 4 y 5.

#### **Figura 4**

*Muestras Geológicas extraídas de las labores mineras en el Valle de san juan de Chorunga.*



*Nota.* De izquierda a derecha. Muestra geológica diamantina y muestra de alta ley. En ambas se puede apreciar la presencia de Pirita Aurífera, Calcopirita, Bornita, entre otros minerales en matriz de cuarzo blanco.

## Figura 5

*Veta aurífera de la mina Esperanza en el Valle de San Juan de Chorunga.*



*Nota.* Las imágenes fueron tomadas dentro de las labores mineras.

Diversos autores concuerdan en la clasificación mineralógica de la zona resaltando la presencia significativa de oro y plata. En la tabla 2, Galloso et al. (2008) presenta datos de análisis químicos realizados en las vetas San Juan, Diagonal, Srta. Clarita, Split San Juan y Pórfido Erika, los cuales dan una idea de la cantidad de oro y metales preciosos contenidos en estas zonas.

**Tabla 2**

*Análisis mineralógico referencial de las vetas del Valle de San Juan de Chorongua.*

Muestra	Au (g/TM)	Ag (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)
Cav-Q-231	38.67	70	42	36	73	12
Cav-Q-232	12.17	-	330	48	69	7
Cav-Q-238	14.67	1.5	52	30	22	12
Cav-Q-248	3.75	<0.5	31	11	23	117
Cav-Q-252	0.18	2.5	22	17	68	13
Cav-Q-256	0.12	2.5	40	20	235	229

*Nota.* Tomado de Galloso et al. (2008).

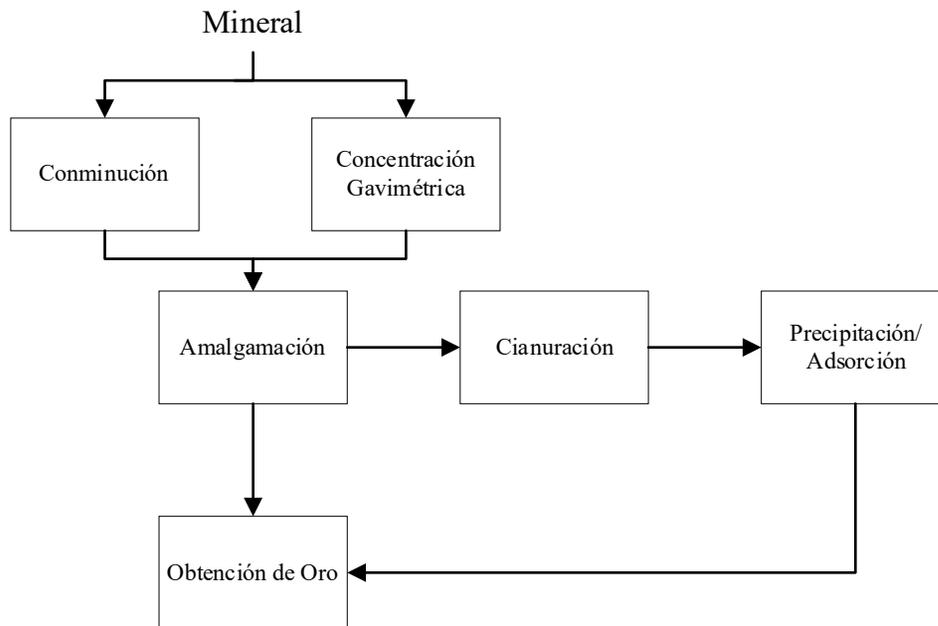
## **2.2.4 Procesos de extracción de oro en minerales**

### **2.2.4.1 Recuperación de oro por amalgamación**

En el contexto de la minería este método ha sido históricamente utilizada para obtener oro. La amalgamación es un método sencillo de atrapamiento de metales nobles empleada por mineros artesanales (Cárdenas, 2017) en el cual se añade mercurio a un concentrado gravimétrico o mena triturada con el fin de formar una amalgama que arrastra el oro y plata contenidos en ellos. Posteriormente se separa la mezcla para evaporar el mercurio por calentamiento recuperando los metales preciosos (Weinberg, 2007).

**Figura 6**

*Comparación del método de cianuración y amalgamación en la recuperación de oro.*



#### **2.2.4.2 Recuperación de oro por gravimetría**

La gravimetría se basa en el principio de separación por diferencia de densidades cuando se aplica una fuerza gravitatoria. Los minerales más densos se hundirán más rápidamente y se concentrarán en el fondo, mientras que los minerales menos densos flotarán hacia la superficie. En los últimos años, muchas empresas empezaron a evaluar los sistemas gravimétricos debido a los crecientes costos de recuperación de minerales, esta técnica ha demostrado ser eficiente en la concentración de minerales cuando se acopla con una buena tecnología e instrumentación además de su menor impacto ambiental (Acosta & Feijoo, 2020).

#### **2.2.4.3 Proceso de Flotación**

La flotación es un proceso de separación utilizado en la industria minera para separar minerales valiosos, como el oro, de minerales menos valiosos y material de desecho, conocido

como ganga. Este proceso se basa en las diferencias en las propiedades físicas y químicas de los minerales lo que permite su separación selectiva. La flotación se basa en la capacidad de ciertos minerales de adherirse a burbujas de aire y flotar en la superficie de un medio acuoso mientras que otros no se adhieren y permanecen sumergidos. Para lograr esto, se utilizan reactivos químicos llamados colectores y modificadores que modifican la superficie de los minerales para que puedan interactuar con las burbujas de aire y flotar (Kolvi, 2021).

#### **2.2.4.4 Proceso de Lixiviación**

La lixiviación o extracción sólido-líquido es un proceso en el cual se remueve un soluto de una matriz sólida mediante solventes (Wankat, 2012) Con frecuencia está acompañada de una reacción química que convierte al elemento que se desea extraer en su forma soluble (Voeste et al., 2006). Para los procesos hidrometalúrgicos auríferos es necesario formar una solución acuosa alcalina llamada “pulpa” junto con cianuro de sodio como agente lixivante que diluirán selectivamente los metales de interés en presencia de oxígeno. El proceso está basado en la afinidad que tiene el cianuro de sodio o potasio con las partículas de oro metálico y plata sobre otros materiales encontrados en minerales auríferos (911Metallurgist, 2023). Después de un tiempo de residencia la fase líquida se enriquece dejando material sólido conocido como relave. Este debe filtrarse para posteriormente recuperar el oro de la solución cianurada por precipitación o adsorción con carbón activado.

#### **2.2.5 Proceso de lixiviación en tanques agitados**

La lixiviación por agitación mecánica en tanques es el método más usado en todo el mundo para minerales auríferos de ley relativamente alta destacando por su mayor velocidad de extracción, es aplicable a muchos minerales, ofrece facilidad de automatización, permite tratar

menas alteradas o generadoras de finos (Uceda, 2016) y la recuperación de metales es muy alta en tiempos relativamente bajos (A. A. Romero & Flores, 2010). Básicamente las pulpas cianuradas se descargan en tanques donde permanecen hasta enriquecer la fase líquida o por tiempos establecidos según las condiciones de proceso. La agitación evita la sedimentación de sólidos durante la residencia además de airear la mezcla lo cual es favorable para las reacciones que suceden dentro.

## 2.2.6 Factores que influyen en el proceso de lixiviación por agitación

### 2.2.6.1 Naturaleza del mineral

Para que la lixiviación sea beneficiosa es importante realizar una correcta caracterización mineralógica y metalúrgica de la roca (Yañez et al., 2005), pues de esto parten los parámetros y ajustes operacionales del proceso. Económicamente, los minerales deben tener una concentración mínima de metales conocida como ley de corte donde los ingresos y costos están equilibrados (Osinermin, 2017). Arévalo & Urcuhuaranga (2022) y Villanueva (2008) clasifican los minerales auríferos según su ley de oro en g/TM de la siguiente manera:

**Tabla 3**

*Clasificación de minerales según su ley de oro.*

Mineral	Ley (g/TM)	Valor
Baja ley	menor a 5	Sub marginal
Baja ley	entre 5 y 8	Marginal
Mediana ley	entre 8 a 12	Evaluación
Mediana ley	entre 12 y 20	Rentable
Alta ley	Mayor a 20	Muy rentable

Operacionalmente, la presencia de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Ba}^{2+}$  puede retardar el tiempo de lixiviación, principalmente compuestos formados por sulfuros debido a la posible formación de películas “aurosulfuradas” en la superficie de las partículas de oro que impedirían la disolución en el medio cianurado (Gupta & Mukherjee, 1990a). El único mineral capaz de acelerar este proceso es el Plomo.

### 2.2.6.2 Tamaño de Partícula

La cominución de rocas libera el mineral valioso de la ganga y es el proceso esencial para una separación eficiente (Wills & Napier-munn, 2006). Durante la lixiviación, la fase líquida se difunde a través de fracturas o poros presentes en el mineral para disolver el oro (Gupta & Mukherjee, 1990b) por lo que el área necesaria para la recuperación no es solo la externa y según la distribución del oro se podría requerir una molienda muy fina (Ortiz et al., n.d.). La tabla 4 puede dar una idea de la importancia de reducir la granulometría de rocas en los procesos de lixiviación:

**Tabla 4**

*Clasificación de minerales según la distribución de metales.*

Clase	Distribución
A	Los metales están distribuidos en la superficie
B	La solución lixivante hace contacto con el metal a través de fracturas o poros
C	La exposición del metal es sucesiva (en cadena)
D	Las fracturas no se extienden a la superficie del mineral
E	El metal se encuentra aislado dentro del mineral

El tamaño óptimo de partícula depende de las propiedades de la superficie, forma y gravedad específica del mineral molido (Portal;Minero, 2006).

Para una recuperación beneficiosa, el tamaño de partícula con frecuencia esta entre 80% < 150  $\mu\text{m}$  y 80% < 45  $\mu\text{m}$  y en casos especiales 80% < 20 a 25  $\mu\text{m}$ . Durante la lixiviación en tanques es poco frecuente agitar partículas mayores a 150  $\mu\text{m}$  pues dificulta la suspensión en pulpa y aumenta el desgaste por abrasión (Marshden & House, 2009).

Para el control granulométrico se utilizan mallas estandarizadas por la norma ASTM E – 11, a continuación, se muestran usados con más frecuencia en los controles granulométricos:

**Tabla 5**

*Tamaño de partícula según el número de tamiz ASMT E - 11.*

#Malla	Tamaño	
	Tylor	Micras
100	0.0058	149
150	0.0041	105
200	0.0029	74
325	0.002	52
400	0.0014	37

*Nota.* Recopilado de (Soiltest, 2016) y (ASTM Internacional, 2020)

Gaviria et al. (2007) explica que la molienda adecuada debe llegar a las 200 mallas o 74  $\mu\text{m}$  según la tabla 5. Por último, (Ponce, 2022) Indica que partículas de oro de 45  $\mu\text{m}$  se disuelven en 13h, mientras partículas de 150  $\mu\text{m}$  en 44 h por lo que concluye que las partículas gruesas se recuperan por gravimetría ya que no se disolverían en un tiempo económicamente aceptable.

### **2.2.6.3 Densidad de la pulpa**

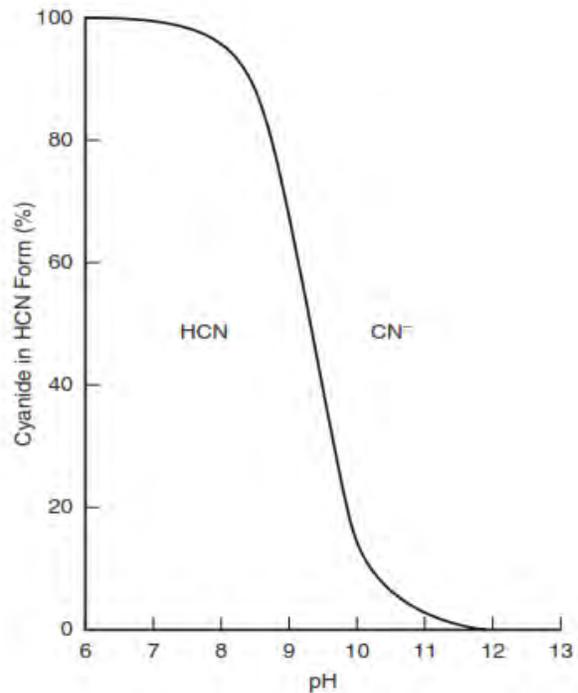
Las pulpas se forman al mezclar sólidos y líquidos con características medibles. Las pulpas mineras son fluidos homogéneos formados por la suspensión de minerales en el agua (Montalvo, 2021). Según diversos autores es usual que las pulpas estén compuestas por 35 - 50% de sólidos dependiendo de su gravedad específica, tamaño de partícula, y presencia de compuestos que afecten la viscosidad como arcillas (Marshden & House, 2009). Las pulpas espesas necesitan más tiempo de retención y el consumo de reactivos será menor. Por otro lado, las pulpas diluidas facilitan el transporte de masa siendo esta última la mejor opción.

### **2.2.6.4 Alcalinidad**

Debido a que el cianuro de sodio se descompone fácilmente en medios ácidos y se disuelve en medios básicos (INSST, 2018). Diversos autores afirman que es importante controlar un pH dentro del rango 10.5 - 11 en la lixiviación especialmente cuando la pulpa contiene materiales ácidos que disminuyen la alcalinidad para mantener la concentración de cianuro libre. Reducir el pH dará lugar a la formación de cianuro de hidrógeno (HCN) que tiende a volatilizarse lo que reduce la fuerza de cianuro o cianuro libre retardando la disolución de oro y requiere mayor adición de lixivante siendo económicamente desfavorable, además es letal a dosis de 90 a 100 mg/l (Ascuña et al., 2018) convirtiéndose un peligro para el personal encargado de las operaciones. Se puede elevar el pH usando hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , hidróxido de sodio (NaOH) u óxido de calcio (CaO) siendo este último más económico, pero menos efectivo. Zamalloa (2017) indica que el hidróxido de Sodio como agente alcalinizante serviría como pretratamiento para oxidar minerales refractarios como arsenopirita.

## Figura 7

*Especiación de cianuro y ácido cianhídrico en función del pH.*



*Nota.* tomado de (Marshden & House, 2009)

La figura anterior muestra el porcentaje de formación de ácido cianhídrico (HCN) cuando el pH disminuye progresivamente desde 12.

### 2.2.6.5 Velocidad de agitación

La agitación mecánica puede ser usada en los procesos con distintos fines como homogenización de fluidos, disolución de reactivos, suspensión de sólidos en medios líquidos, emulsión de fluidos insolubles, inyección de gases en fluidos, intercambio térmico, etc. (Uribe, 2013)(GIDOLQUIM, 2023). Dentro de los tanques de lixiviación, permite la difusión y aireación de los componentes de pulpa homogenizándola e influyendo en la velocidad de disolución hasta un máximo donde ya no tendrá efecto (A. A. Romero & Flores, 2010). La agitación en tanques

donde la pulpa está conformada por el 40%-50% sólidos mejorara el grado de disolución de oro pues se usan velocidades altas para aumentar la turbulencia, mejorar la mezcla, oxigenar la pulpa y difundir los reactivos a través del mineral (Free, 2022) siendo el caso más típico. De lo contrario agitaciones a baja velocidad necesitaran paletas o rastrillos de gran tamaño para evitar la sedimentación en la parte inferior del tanque (Marshden & House, 2009)

### 2.2.6.6 Concentración de cianuro de sodio (NaCN)

Las sales cianuradas como cianuro de sodio (NaCN), cianuro de potasio (KCN) y cianuro de calcio (Ca(CN)<sub>2</sub>) al ser disueltas en agua se disocian en un ion de cianuro libre y su respectivo catión metálico. La reacción es la siguiente:



El cianuro de sodio es un compuesto sólido e incoloro que se produce por la reacción de hidróxido de sodio con cianuro de hidrogeno (Quimica Industrial, 2023) es el reactivo más usado en este proceso por su bajo costo, baja corrosión, seguridad durante la operabilidad a pesar de su toxicidad y alta eficiencia de lixiviación con muy bajas concentraciones < 500 ppm (Vidarte, 2016).

**Tabla 6**

*Disponibilidad de cianuro libre.*

Lixiviante	Cianuro libre Disponible (%)	Solubilidad en agua a 25°C (g/cm <sup>3</sup> )
NaCN	53.1	48
KCN	40	50
Ca(CN) <sub>2</sub>	56.5	Descompuesto

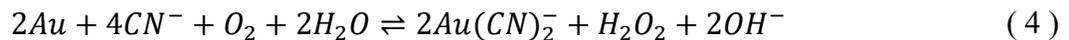
La concentración de cianuro correcta permite que el oro sea disuelto más rápido alcanzado un valor máximo (Khosravi et al., 2017). La tabla 6 muestra la cantidad de cianuro libre disponible según el agente lixiviante. Paredes (2022) afirma que aproximadamente el 53.1% de cianuro de sodio diluido en agua da origen a cianuro libre (conocido como fuerza de cianuro) mientras el resto se hidroliza dando lugar a HCN e iones oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ) que incrementan el pH. La reacción se describe a continuación:



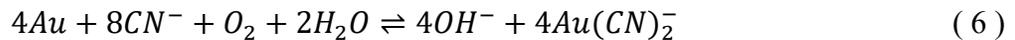
El ácido cianhídrico (HCN) se disocia en agua según la reacción:



Las moléculas de cianuro libre reaccionan con las partículas de oro diseminadas para formar compuestos aniónicos solubles en agua llamados aurocianidas según las siguientes reacciones:



La siguiente reacción propuesta por Elsner es la que describe de mejor manera el proceso de disolución de oro y es considerada por muchos autores como la reacción general para la lixiviación aurífera:

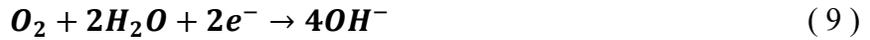


La cantidad de cianuro consumido por minerales no refractarios típicamente es de 0.1 y 2.5 kg/TM con eficiencias de lixiviación que varían de 50% a 80%, Sin embargo existen procesos que aplican cianuraciones intensivas con recuperaciones mayores al 97% en las cuales el consumo de cianuro es de 5 kg/TM – 25 kg/TM (Marshden & House, 2009) dependiendo de

las condiciones a las cuales está sometida el proceso y la mineralogía, pues existen constituyentes refractarios o cianicidas que necesitan realimentación de insumos y monitoreo constante de parámetros para maximizar la disolución de oro.

#### 2.2.6.7 Efecto de concentración de Oxígeno

Para Uceda (2016) el oxígeno es el elemento ideal pues no necesita regeneración en medio alcalino o ácido.



La concentración de oxígeno desempeña un papel importante durante la lixiviación pues está directamente relacionado con la eficiencia del proceso pues facilita las reacciones de oxidación que rompen los enlaces químicos y disuelven los metales preciosos presentes, especialmente el oro (Oxywise, 2023). También previene la caída del pH pues reacciona con los iones de hidrogeno que se forman durante la disolución de oro ayudando a mantener las condiciones óptimas para el proceso.

**Tabla 7***Disolución de oxígeno en agua.*

Temperatura °C	Nivel del mar (760 mmHg)	914 m.s.n.m (680 mmHg)	1828 m.s.n.m (610 mmHg)
0	14.6	13.1	11.7
10	11.3	10.1	9.1
15	10.1	9	8.1
20	9.1	8.2	7.3
25	8.3	7.3	6.6
30	7.5	6.7	6.1
35	7	6.2	5.6
50	5.6	4.9	4.5
70	3.9	3.4	3
90	1.7	1.1	0.7
100	0	0	0

*Nota.* La tabla indica la solubilidad de oxígeno a distintas temperaturas y altitudes. (21% de O<sub>2</sub> contenido en el aire disuelto en agua (mg/l).

La presencia de oxígeno disuelto incrementa la recuperación de oro. Como se observa en la tabla anterior a nivel del mar, y a temperaturas promedio de 20 °C se consigue 9.1 mg/l pero la aireación por agitación o inyección de aire incrementara el contenido de oxígeno en la pulpa. Con valores 7.5 mg/l de O<sub>2</sub> se puede disolver alrededor del 95% de oro total en un tiempo aproximado de 8 h. La siguiente tabla describe el porcentaje de recuperación a distintas concentraciones de oxígeno usando cianuro de potasio (KCN) al 0.25% como agente lixivante en un tiempo de 5 horas.

**Tabla 8**

*Efecto de oxígeno en la recuperación de oro.*

Concentración de oxígeno (mg/l)	Recuperación de oro (%)
26	96%
14	95.10%
7.5	94.80%
3.5	78.70%
2.1	61.40%
1	55%

*Nota.* Tomado de (Marshden & House, 2009)

Se puede incrementar los niveles de oxígeno inyectando aire, oxígeno puro, aire enriquecida, añadir peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) u otras fuentes de oxígeno, pero son caros y su implementación solo sería necesaria en caso de procesar minerales de alto consumo de oxígeno. Aquino (2019) afirma que la saturación de oxígeno en solución a nivel del mar y 25°C es de 8.2 ppm. Por otro lado, valores menores a 20 mg/l o en ciertos casos valores más bajos como 7 mg/l pueden formar capas pasivadas en la superficie del oro. Este fenómeno dependerá de la clase de mineral y las condiciones a las cuales está sujeta el proceso.

## **2.2.7 Ensayos Químico metalúrgicos de oro**

### **2.2.7.1 Ensayos al fuego**

El método de ensayos al fuego o “Fire Assay” sirve para descomponer una muestra mineral por medio de fusión con una mezcla fundente óxido reductor compuesta básicamente de óxido de plomo (PbO) el cual reacciona selectivamente recolectando los metales nobles como oro y plata en un regulo de plomo el cual será copelado (Salazar, 2023). La determinación final

de oro se realiza por gravimetría o adsorción atómica obteniendo de esta forma la ley de la muestra en g/TM o ppm.

Estos ensayos han demostrado ser altamente precisos en la determinación de oro brindando resultados confiables en la mayoría de minerales (Attala, 2012).

### **2.2.7.2 Ensayos metalúrgicos**

Las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio tienen el fin de brindar información inicial para evaluar la respuesta de muestras minerales a tratamientos metalúrgicos o variaciones que permitan direccionar las operaciones a un fin determinado estudiando la reducción de tamaño, molienda, clasificación gravimétrica, tipos de cianuración (botella, en tanques, columnas) procesos de flotación, sedimentación, etc. Los resultados obtenidos serán valiosos para realizar escalamientos posteriores. (Garcia, 2023). Las pruebas de cianuración permiten una visualización simple y precisa ya que mediante esta se puede estudiar parámetros como la influencia del porcentaje de sólidos en pulpa, velocidad de agitación entre otros más comunes como pH, recuperación de metales preciosos, granulometría, tiempo de lixiviación, consumo de reactivos o varianzas metalúrgicas (SGS, 2023).

Los ensayos metalúrgicos de lixiviación a nivel de laboratorio más utilizados son las de prueba de jarras y cianuración en botellas con la finalidad de evaluar la capacidad de disolución del mineral con cianuro y determinar la cantidad de oro que puede ser extraída mediante estas. Se prepara una solución lixivante de cianuro de sodio en una concentración específica y se agitan constantemente para asegurar una mezcla uniforme. El tiempo de reacción varía según el objetivo del ensayo y las características del mineral. Una vez culminada la agitación se realizan

los análisis químicos de las muestras de solución lixiviante y determinar la cantidad de oro disuelto en función del tiempo y los parámetros aplicados (Marin Barrera, 2022).

### **2.2.8 Optimización**

La optimización son acciones de ingeniería que permiten obtener el mejor resultado de un sistema bajo determinadas condiciones obteniendo valores máximos o mínimos en una función (Rao, 2018). En la ingeniería Química, optimizar permite visibilizar los parámetros más favorables del proceso que se optimiza (Dutta, 2016) para maximizar la eficiencia, calidad, productividad o minimizar costos, tiempo, impacto ambiental, entre otros (Rodrigues & Iemma, 2015) mediante la sistematización de técnicas operativas. (Taha, 2012) Indica que se debe utilizar un criterio objetivo para evaluar las alternativas de decisión junto a las restricciones.

#### **2.2.8.1 Metodología de Optimización por Superficie Respuesta**

La metodología de superficie “MSR” es un conjunto de estrategias matemáticas avanzada de análisis experimental para resolver problemas que requieren respuestas optimas influidas por variables de carácter cuantitativo (Statgraphics, 2023) de una o varias características refinando el modelo. Permiten experimentar secuencialmente hasta encontrar los valores deseados explorando cada las regiones experimentales de manera detallada (Gutiérrez & Salazar, 2012).

Montgomery (1991) argumenta que si se precisa determinar los niveles de temperatura ( $x_1$ ) y presión ( $x_2$ ) que maximiza un proceso en términos de rendimiento ( $y$ ), este está en función de los niveles de temperatura y presión, por lo que:

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (10)$$

Donde  $\varepsilon$  es el error en la respuesta  $y$ .

Si la respuesta pronosticada es denotada por:

$$E(\mathbf{y}) = \mathbf{y} = \mathbf{f}(x_1, x_2) + \varepsilon = \eta \quad (11)$$

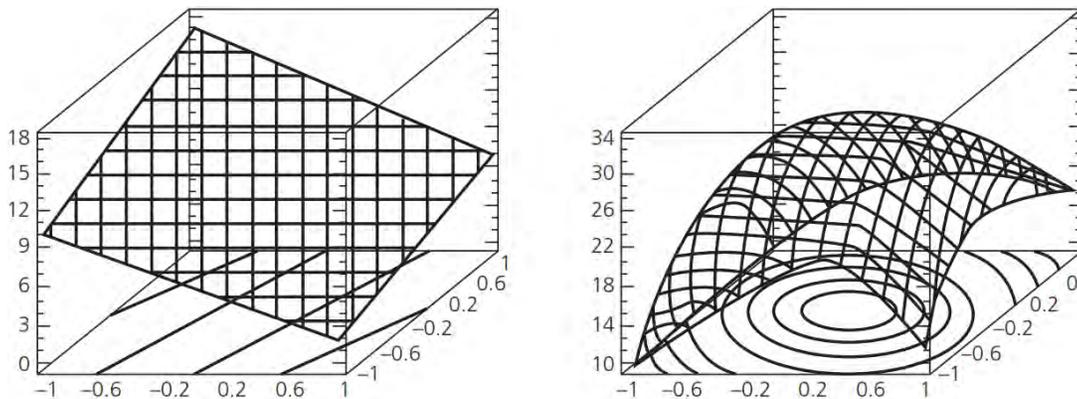
Entonces, se obtiene una superficie respuesta representada por:

$$\eta = \mathbf{f}(x_1, x_2) \quad (12)$$

la superficie respuesta puede ser representada gráficamente en el espacio tridimensional según (D. Montgomery, 2004), donde  $\eta$  se encuentra contra los niveles  $x_1$  y  $x_2$  como se muestra en la figura 8. Dependiendo de la interacción entre factores y su impacto en la variable respuesta se obtendrá una superficie característica.

### Figura 8

*Gráficos de superficie respuesta.*



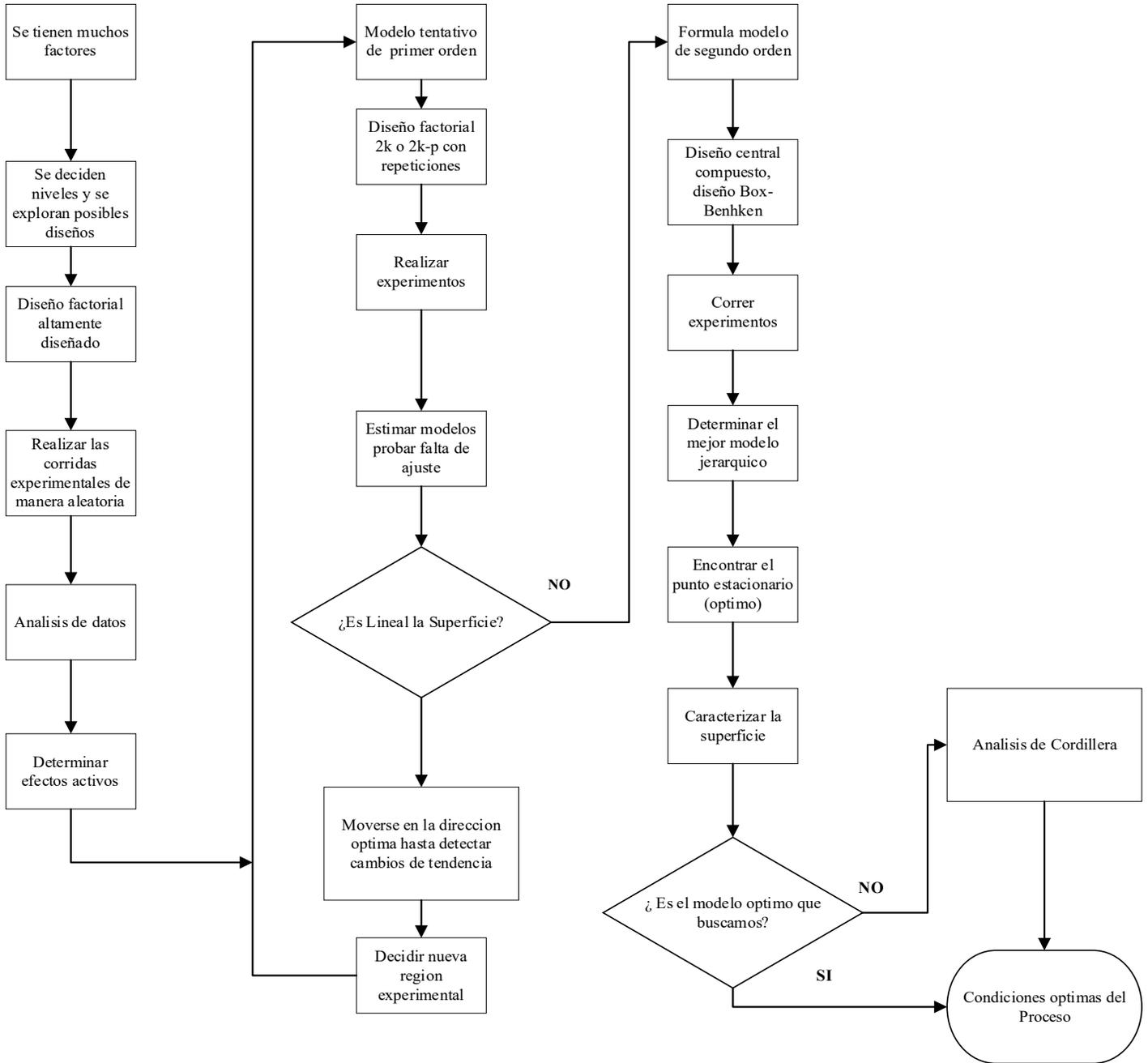
*Nota.* Izquierda: superficie respuesta sin curvatura, derecha: superficie respuesta con curvatura. Tomado de Gutiérrez & Salazar (2012) y (*Método de La Superficie Respuesta*, n.d.).

(Mendez, 2007) postula que la finalidad de la metodología superficie respuesta es:

1. Determinar los valores de  $x^{(s)}$  que minimizan o maximizan la variable respuesta
2. Caracterizar la función  $\eta$  en alguna región de interés.

**Figura 9**

*Esquema de los elementos del MSR en su contexto amplio.*



*Nota.* Recopilado de (Gutiérrez & Salazar, 2012) y (Acosta et al., 2021).

(Figueroa, 2003) indica que los modelos de la metodología superficie respuesta pueden ser representadas de distintas maneras:

- Modelo lineal de primer orden sin productos cruzados o interacciones:

Este modelo es usado como primer ajuste cuando no se cuenta con información respecto a la forma que presenta la superficie respuesta según (Ruíz et al., 2017).

Sánchez (2011) expresa el modelo de forma desarrollada como:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + e \quad (13)$$

Siendo la ecuación general del modelo de primer orden:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + e \quad (14)$$

- Modelo lineal de primer orden con interacciones:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + e \quad (15)$$

- Modelo de segundo orden empleado cuando existe curvatura en el sistema:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=i+1}^k \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + e \quad (16)$$

Considerando “e” como el error observado en la respuesta “y”. el modelo de segundo orden es usado cuando los modelos anteriores no se ajustan (Ciurlizza, 2009), cuando se explora una zona compleja o cuando se estima que el punto óptimo está dentro de la región experimental (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Para el ajuste es necesario tener al menos tres niveles para cada variable (-1, 0, +1)

(Nóchez & Ventura, 2009). Adicionalmente (Gutiérrez & Salazar, 2012) añade que los

diseños de superficie respuesta más utilizados son Box – Behnken y diseño central compuesto.

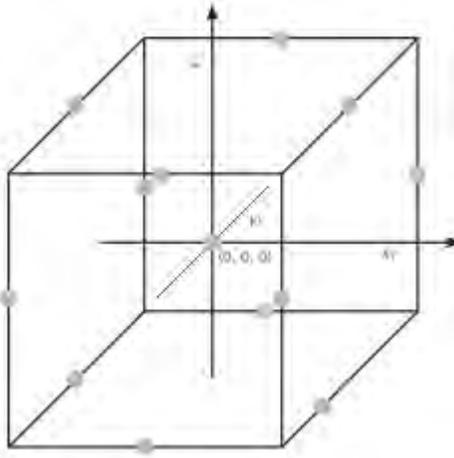
Para una mejor comprensión de la superficie respuesta, se suele graficar los contornos correspondientes a la altura específica de dicha superficie, estas son líneas en el plano  $x_1, x_2$  y son útiles para estudiar mejor los cambios en la altura o niveles de la superficie repuesta (D. Montgomery, 1991).

### **2.2.8.2 Diseño de Superficie Respuesta Box-Behnken**

El diseño de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas en los que una variable de interés (respuesta) es influenciada por varias variables independientes (factores). Es un diseño de tipo superficie respuesta formado de la combinación del diseño factorial  $2^k$  junto al diseño de bloques incompletos (Higareda, n.d.) y es aplicable a tres o más variables, frecuentemente se ajusta bien en cuanto a número de corridas y se diferencia porque excluye como tratamiento a vértices de la región experimental como  $(1, 1, 1)$  y  $(-1, -1, -1)$  que a veces son extremos y no se pueden correr (Gutiérrez & Salazar, 2012)

## Figura 10

*Representación del Diseño Box-Behnken para tres factores.*



Este diseño funciona con al menos tres factores combinándolos entre sus puntos bajo, medio y alto mostrados en la figura 10. La finalidad de dichas combinaciones es generar las corridas experimentales para estimar eficientemente funciones de primer y segundo orden (Minitab, 2023) ya que es aplicable para optimizar varios factores simultáneamente (Delzo et al., 2021).

Se requiere un diseño Box-Behnken con 3 puntos centrales, la matriz de diseño se extenderá para incluir estos puntos adicionales. Los puntos centrales se utilizan para estimar la variabilidad experimental y mejorar la precisión del modelo. Así mismo haciendo uso de la metodología del modelo de Regresión Cuadrática, Requiriendo maximizar la recuperación de oro obtenemos:

$$Y = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_3C + \beta_{11}A^2 + \beta_{22}B^2 + \beta_{33}C^2 + \beta_{12}AB + \beta_{13}AC + \beta_{23}BC \quad (17)$$

### 2.2.8.3 Características del Diseño Box-Behnken

Cada factor se estudia en tres niveles: bajo (-1), medio (0) y alto (1). Incluye puntos centrales (donde todos los factores están en su nivel medio), que ayudan a estimar la variabilidad experimental y la curvatura de la respuesta. Para un diseño con  $k$  factores, el número total de corridas experimentales es denotada por la siguiente ecuación.

$$\text{N}^\circ \text{ corridas} = 2k(k - 1) + C \quad (18)$$

Donde  $C$  es el número de puntos centrales, por lo tanto, el número total de corridas para nuestro experimento será  $2*3*(3-1) + 3 = 15$

Teniendo en cuenta esto, se procede a construir la matriz Box-Behnken para 3 factores con 3 puntos centrales; Si A y B varían, C está en su nivel medio, Si A y C varían, B está en su nivel medio, Si B y C varían, A está en su nivel medio (D. C. Montgomery, 2017).

**Tabla 9**

*Corrida experimental de tres factores usando el diseño Box-Behnken.*

Tratamiento	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

#### 2.2.8.4 Método de Gradiente Ascendente

El gradiente descendente es un algoritmo de optimización utilizado para encontrar los mínimos de una función. Es especialmente útil en el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático y en la optimización de funciones no lineales en diversas aplicaciones (HASTI et al., 2009). Este modelo se usará para corroborar los datos en el diseño de Superficie Respuesta Box-Behnken.

### **Función Objetivo:**

- Es la función que se desea minimizar o maximizar.
- En el contexto del modelo de regresión cuadrática, la función objetivo podría ser una función de costo que mide la discrepancia entre los valores predichos por el modelo y los valores observados.

### **Gradiente:**

- El gradiente de una función en un punto es un vector que apunta en la dirección del mayor aumento de la función. Para minimizar la función, nos movemos en la dirección opuesta al gradiente.

Gradiente de la función objetivo en el punto actual  $X_i$ :

$$\nabla f(X_i) \quad (19)$$

### **Parámetros**

Parámetros moviéndose en la dirección opuesta al gradiente:

$$x_{i+1} = x_i - \alpha \nabla f(X_i) \quad (20)$$

### **Convergencia**

Repetir los pasos hasta que el cambio en la función objetivo sea menor que un umbral predefinido o hasta que se alcance un número máximo de iteraciones.

### **Función de Costo**

Modelo utilizado por la gradiente descendente, primero definimos la función de costo, esta determina el error cuadrático medio (MSE):

$$J(\beta) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_{11} X_{1i}^2 + \beta_{22} X_{2i}^2 + \beta_{33} X_{3i}^2 + \beta_{12} X_{1i} X_{2i} + \beta_{13} X_{1i} X_{3i} + \beta_{23} X_{2i} X_{3i}))^2 \quad (21)$$

Siendo “m” el número de total de observaciones y J(B) mide el error promedio de los valores predichos por el modelo.

### Gradiente de la Función de Costo

Para aplicar el gradiente descendente, necesitamos calcular los gradientes parciales de J(B) con respecto a cada coeficiente  $\beta_j$ . El gradiente vectorial es:

$$\nabla J(\mathbf{B}) = \left[ \frac{\partial J}{\partial \beta_0}, \frac{\partial J}{\partial \beta_1}, \frac{\partial J}{\partial \beta_2}, \frac{\partial J}{\partial \beta_3}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{11}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{22}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{33}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{12}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{13}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{23}} \right]^T \quad (22)$$

Donde “T” representa la transpuesta y cada término del gradiente se calcula como:

$$\frac{\partial J}{\partial \beta_j} = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - f(X_i, \beta)) \frac{\partial f(X_i, \beta)}{\partial \beta_j} \quad (23)$$

En donde  $f(X_i, B)$  representa el valor predicho para el modelo en la i-ésima observación.

### 2.2.9 Cinética

La velocidad con que se llega al estado de equilibrio de una fase, involucrada en un proceso de un determinado elemento se denomina cinética. Esta se centra en estudiar cual es la velocidad de una transformación química (Herrera, 2019). En este proceso acostumbra a distinguir dos tipos de reacciones que pueden ser homogéneas y heterogéneas. El primer término se refiere a reacciones que ocurren dentro de una sola fase o en una solución. Mientras que la heterogénea si hay más de una fase involucrada. (Chávez, 2018). Es común que en los procesos hidrometalúrgicos ocurran reacciones heterogéneas pues en estas se transfiere masa de la fase sólida a la líquida. Los sólidos cristalinos insolubles en agua suelen tener un enlace covalente que al contacto con el reactivo lixivante abandonan iones favoreciendo la disolución (Herrera, 2019).

En un sistema cinético complejo el progreso de la reacción puede seguirse ya sea midiendo la velocidad de desaparición de reactivos o la velocidad de aparición de productos. La cantidad de cada uno dependerá de la estequiometría global de la reacción y la ecuación cinética general se refiere a la descripción matemática de la velocidad de una reacción química en función de la concentración de los reactivos (Escobedo, 2010)

La ecuación genérica es:



Donde:

- A y B: son reactivos.
- C y D: son los productos.
- a, b, c y d: son los coeficientes estequiométricos.

Ecuación cinética general para la reacción es:

$$v = k[A]^m[B]^n \quad (25)$$

Donde:

- v: es la velocidad de la reacción.
- k: es la constante de velocidad,
- [A] y [B]: Concentraciones de los reactivos

m y n: Son los ordenes de la reacción con respecto a A y B, estos componentes indican como la concentración de cada reactante afecta la velocidad de reacción. En algunos casos la suma de (m + n) representa el orden total de la reacción.

### 2.3 Descripción del proceso de Cianuración

La cinética de Cianuración del oro con el Cianuro de sodio involucra múltiples etapas ya que la velocidad de esta reacción puede depender de varios factores, como la concentración de reactantes, el pH y la presencia de impurezas. Este proceso describe la adsorción del cianuro y oxígeno en la superficie del mineral para formar el soluto.

#### 2.3.1.1 Modelo Cinético de Pseudo primer orden.

### 2.4 Modelo Pseudo primer Orden

Descrito por Lagergren (1898), un modelo más adecuado para procesos que ocurren relativamente rápido y su ecuación se describe de la siguiente forma:

#### Pseudo 1er Orden

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (26)$$

**Donde:**

$q_e$ : La cantidad de ión metálico adsorbido en el equilibrio por la biomasa (mg/g)

$q_t$ : La cantidad de ión metálico adsorbido en cualquier tiempo (mg/g)

$k_1$ : la constante de velocidad global ( $\text{min}^{-1}$ )

### 2.4.1.1 Modelo cinético de Segundo orden

Este modelo es una extensión del primer modelo y se basa en la suposición de que la velocidad de adsorción es proporcional al cuadrado de la concentración de cianuro en la solución. Esta ecuación es útil para procesos más lentos (Elizondo Mireles, 2009).

Descrito por Ho & McKay (1999), y la ecuación se representa de la siguiente manera:

#### Pseudo de segundo Orden

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (27)$$

**Donde:**

$q_e$ : La cantidad de ión metálico en el equilibrio por la biomasa (mg/g)

$q_t$ : La cantidad de ión metálico en cualquier tiempo (mg/g)

$k_2$ : la constante de velocidad pseudo segundo orden ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ )

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis General

- Es posible optimizar el proceso de lixiviación del mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga para incrementar la recuperación de oro por diseño superficie de respuesta Box-Behnken.

## 2.5.2 Hipótesis Específicas

- El correcto muestreo y acondicionamiento de mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga permitirá obtener resultados confiables.
- Altas concentraciones de cianuro, pulpas menos densas y agitación rápida permitirán lixiviar oro a un porcentaje mayor al 85%.
- El diseño superficie de respuesta Box-Behnken permitirá optimizar los valores de concentración de cianuro, densidad de pulpa y velocidad de agitación.
- La curva cinética llegara al estado estacionario en menor tiempo usando los parámetros óptimos obtenidos en por el diseño superficie de respuesta Box-Behnken.

## 2.6 Variables e Indicadores

### 2.6.1 Identificación de Variables

Las variables independientes y sus respectivos niveles para esta investigación se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 10**

*Variables y niveles de investigación.*

Variable independiente	Símbolo	Código de Niveles			Unidades
		-	0	+	
Concentración de Cianuro	X <sub>1</sub>	100	250	400	ppm
Densidad de pulpa	X <sub>2</sub>	1200	1330	1500	g/l
Velocidad de Agitación	X <sub>3</sub>	16	33	50	RPM
Variable dependiente	Recuperación de Oro				%

## 2.6.2 Parámetros

- Peso del mineral                    400 g por experimento
- pH:                                        10.5 - 11
- Granulometría:                        malla # 200 con 80% de pasante
- Tiempo de lixiviación:                12 horas

### 2.6.3 Operacionalización de variables

**Tabla 11**

*Operacionalización de Variables.*

	<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Indicador</b>	
variable dependiente	Recuperación  % de recuperación de oro	Cantidad de oro que pasa de la fase solida a la liquida por medio de un agente lixiviante	Se ensaya la solución rica obtenida de pulpa y el resultado se compara con la ley de cabeza para calcular el % de oro recuperado	Porcentaje de Recuperación	
Variable Independiente	Proceso de Lixiviación	Concentración de Cianuro	Compuesto químico de formula NaCN en forma de flakes color blanco cristalino, higroscópico, inodoro cuando está seco.	Variar las concentraciones de cianuro en pulpa influyen en la recuperación de oro	ppm
		Densidad de la Pulpa	Es la mezcla de mineral y agua acondicionada que forman un fluido homogéneo y en la cual se suspenden las partículas solidas	Ratio agua/solido más favorable para el proceso de lixiviación de mineral PB	g/l
		Velocidad de Agitación	La agitación tiene como finalidad facilitar el contacto, maximiza la homogeneidad entre reactivos y permite airear la pulpa	Variar la velocidad de agitación influirá en la velocidad de lixiviación	RPM

### **3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS**

#### **3.1 Alcance del estudio**

##### **3.1.1 Tipo de Investigación**

Este trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo pues sigue un proceso sistemático ya que está organizado en distintos pasos. Se estableció un plan compuesto por tres variables, se recolectará datos según los procedimientos establecidos con el fin de determinar el porcentaje de oro recuperado para optimizar el proceso de lixiviación. Por último, se analizará estadísticamente la veracidad de las Hipótesis prescritas con el propósito de validar los resultados obtenidos.

##### **3.1.2 Nivel o alcance de la investigación**

El tipo de estudio correlacional busca conocer el grado de relación entre dos o más variables en una muestra. (Hernández et al., 2014) explica que en los estudios correlacionales se deben medir, cuantificar, analizar, verificar mediante prueba de hipótesis y finalmente establecer las vinculaciones de las variables respecto a otras.

Por lo expuesto anteriormente, este trabajo tiene un alcance correlacional pues se estudiará la relación de la concentración de cianuro, la densidad de pulpa y la velocidad de agitación con la recuperación de oro proponiendo así los valores óptimos para maximizar la variable dependiente

#### **3.2 Población**

Según (Hernández et al., 2014) una vez definida la unidad de muestreo se demarcar la población sujeta a estudio. (Lepkowski et al., 2008) se refiere a la población como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones; (Jany, 1994) Define

población como “la totalidad de elementos o individuos que tienen ciertas características similares y sobre las cuales se quiere hacer inferencia”.

Considerando lo anterior, la población en esta investigación proviene de la tolva “Planta de Beneficio” donde se almacena todo el producto de las actividades mineras de las labores mineras Millonaria, Esperanza, Mercedes y “Ciento Cincuenta” que pertenecen a la Compañía Minera OREX S.A.C. El mineral se caracteriza por ser sulfurado en matriz de cuarzo compuesto principalmente por pirita aurífera, marcasita, siderita, calcopirita diseminada y mínimamente óxidos de hierro.

### **3.3 Muestra**

(Hernández et al., 2014) afirma que, para procesos cuantitativos, la muestra es parte esencial y representativa de una población definida con precisión. De igual manera (Bernal, 2010) define la muestra como parte de la población que se selecciona y sobre la cual se medirán las variables de estudio.

El muestreo utiliza una pequeña fracción de la muestra total disponible siendo una de las operaciones más importantes para análisis químicos (Skoog et al., 2005). La muestra se recolectó de las fajas transportadoras que llevan el mineral chancado de la tolva “Mineral mina” hacia el molino de bolas Funcal 6” Ø x 6”. El método de muestreo fue el de incremento usando una pala Jis para recoger tanto el mineral grueso como el fino con la finalidad de obtener la muestra más representativa posible.

### **3.4 Diseño de investigación**

Evaluar el proceso de lixiviación y proponer mejoras que permitan mayor recuperación demandara realizar una investigación de tipo experimental a nivel de laboratorio para identificar

las variables que tiene mayor influencia en el proceso de lixiviación del mineral aurífero. Mediante el software Statgraphics Centurion XVI se ha realizado el diseño experimental por Superficie Respuesta Box-Behnken con el cual se determinó el efecto de las variables para optimizar la recuperación de oro tomando un punto máximo, un mínimo y un punto central. Se estudiará el efecto de los tres factores indicados en 15 corridas experimentales de dos extremos y un punto medio en orden aleatorio para evitar el efecto de variables ocultas. Estas fueron ejecutadas en tres repeticiones según el siguiente esquema:

**Tabla 12**

*Esquema experimental de investigación.*

Nº	[Cianuro] ppm	Pulpa g/L	RPM
1	100	1200	33
2	400	1200	33
3	100	1500	33
4	400	1500	33
5	100	1350	16
6	400	1350	16
7	100	1350	50
8	400	1350	50
9	250	1200	16
10	250	1500	16
11	250	1200	50
12	250	1500	50
13	250	1350	33
14	250	1350	33
15	250	1350	33

### **3.4.1 Supuestos de normalidad**

Los supuestos de normalidad o pruebas de bondad de ajuste sirven para contrastar si los datos de un experimento provienen de un modelo de probabilidad como distribución exponencial, binominal, normal, etc (Romero, 2016).

Las pruebas de contraste de normalidad son Kolmogorov – Smirnov (aplicable cuando el número de muestras es mayor a 50), test de Lillieford, prueba grafica (histogramas, graficas Q – Q y Shapiro Wilks (aplicado a muestras igual o menores a 50).

La distribución normal de los 45 experimentos realizados fue contrastada por los métodos de Shapiro Wilks, prueba de Bartlett y pruebas graficas antes de realizar el análisis de varianza.

### **3.4.2 Análisis de la influencia de variables**

El análisis de varianza (ANOVA) se define como una técnica estadística para el análisis de mediciones que dependen de varias clases de efectos que operan simultáneamente, necesitan ser comparados o son repetitivas (Dagnino, 2014)(Díaz, 2009). Su finalidad es estimar los efectos y decidir cuáles son los efectos importantes (Scheffe, 1999).

El diagrama de Pareto es un método grafico útil para visualizar los aspectos más importantes del problema analizado (Galgano, 1995)

Para el análisis de datos de la presente investigación se aplicó el método ANOVA para estudiar las variables y sus interacciones que influyen directa o indirectamente en el proceso de lixiviación de mineral para la recuperación de oro. Además, se realizó un diagrama de Pareto que visibiliza el grado de significancia de estas.

### **3.4.3 Diseño de superficie respuesta Box-Behnken**

El método Box-Behnken es una técnica de diseño experimental utilizada para explorar y optimizar las condiciones de un proceso o sistema, minimizando la cantidad de experimentos necesarios. Este método se emplea en diversas áreas, incluida la investigación y desarrollo de procesos químicos y metalúrgicos, como la extracción de minerales que se basa en el diseño de experimentos estadísticos y se utiliza para determinar la relación entre variables independientes y una respuesta (Jaramillo et al., 2013).

(Myers et al., 1995) afirma que a partir del diseño se toman tres datos (A, B, C) y estas podrían ser las combinaciones posibles:

**Tabla 13**

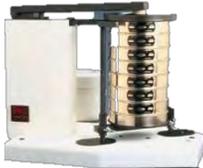
*Número de experimentos aplicando el diseño de superficie respuesta Box-Behnken.*

EXPERIMENTOS	Variables		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

### 3.5 Equipos

Tabla 14

*Equipos empleados en la investigación.*

Nombre del equipo	Modelo	Panel fotográfico
<b>Estufa de secado Industrial Grieve Corp.</b>	NB-550	
<b>Equipo de tamizado RODTAP</b>	ASTM E 11	
<b>Balanza analítica Mettler- Toledo</b>	METTLER- TOLEDO	
<b>Equipo RockLabs Boyd Crusher</b>	ELITE - RSD	

---

**Divisor Rotatorio**

LABTECH HEBRO



---

**Balanza Marcy**

CS26



---

**Equipo pulverizador  
RockLabs**

RM-1000



---

**Ollas de pulverización  
RockLabs de capacidad 1  
kg**

TC-40



---

**Equipo de agitación para  
prueba de jarras**

JLT



---

**Filtro de pedestal**

LABTECH HEBRO



---

### 3.6 Materiales

- Pipeta aforada de 5 ml
- Bureta
- Probetas de 100 ml y 500 ml
- Pissetas
- Vaso de precipitados 500 ml y 2 l
- Tamices
- Divisor Johnes de 3 niveles Labtech HEBRO
- Pala Jiss
- Papel tornasol “Panpeha”
- Baguetas de vidrio
- Espátulas de 3”
- Embudos de vidrio

- Bandejas Metalúrgica

### 3.7 Reactivos

- Solución de hidróxido de sodio al 10% (flakes de grado industrial)
- Solución de Cianuro de Sodio al 30% (flakes de grado industrial)
- Indicador Ioduro de potasio al 5% (reactivo químicamente puro)
- Solución de nitrato de plata al 8.66% (reactivo químicamente puro)

### 3.8 Equipos de Protección Personal (EPP)

**Tabla 15**

*Equipos de protección personal empleados*

Nombre	Descripción	Panel Fotográfico
Uniforme con cintas reflectivas	Tela Drill Material Poliéster doble Franja de Cinta reflectiva forma de H alta visibilidad	

---

Zapatos punta de acero,  
antideslizante y dieléctrico

Entresuela de Poliuretano de baja densidad ultraliviana y planta de poliuretano de alta densidad, de excelente resistencia a los hidrocarburos y sus derivados. Sistema de cierre en U con fuelle completo que protege de penetración de partículas y humedad al pie. Aislante eléctrico según norma ASTM 2413-11



---

Casco tipo jockey

El casco Jockey tiene carcasa de polietileno de alta densidad casco tipo 1, establecidos por la Norma ANSI Z89.1 2009. CLASES E Y G.



---

Protector auditivo tipo copa  
3M 98db

Protección para áreas donde se desempeñan niveles de ruido que superan los límites establecidos. Cumplen con el decreto Supremo N° 594, para exposiciones efectivas a ruido durante 8 hrs.



---

guantes de badana

Guantes de seguridad hecho de cuero badana, de uso cómodo y flexible. Ideal para usar al momento de manipular herramientas



Lentes claros de seguridad 3M	<p>Tecnología 3M de difusión de la presión en la patilla. Absorben el 99.9% de los rayos UVA y UVB.</p> <p>Cuentan con almohadillas ajustables para la nariz y patillas.</p> <p>Revestimiento Anti-Empaño Scotchgard</p>	
Respirador de media cara 3M 7500	<p>Material de silicona para proveer mayor protección respiratoria.</p> <p>Presenta una válvula 3M Cool-Flow que facilita la respiración y reduce notablemente el calor y la humedad.</p> <p>Posee un arnés para cabeza con modo dual para modo estándar o hacia abajo.</p>	
Cartuchos para polvo y partículas 3M 7093 P100	<p>Contra polvos, humos y neblinas con o sin aceite.</p> <p>Material cubierto de copolímeros de policarbonato y resinas ABS.</p> <p>Resistente a altas temperaturas</p>	
Cartuchos 3M 6059 Abek1	<p>Cartucho que protege al usuario contra diversos agentes tóxicos.</p> <p>Compatible con respiradores elastoméricos 3M Elemento.</p> <p>Filtrante de Carbón activado.</p>	

Guantes de nitrilo TouchNTuff	<p>Resistencia contra salpicadura de un amplio rango de peligros químicos Diseño del guante. Libre del polvo, sin silicona, suave</p>	
Caretta facial	<p>Casquete porta visor fabricado en polipropileno de alta densidad y caretta de policarbonato alta densidad de 1 mm. de espesor con borde de aluminio. Sistema de suspensión Ratchet.</p>	
Saco de rayón aluminizado	<p>Tejido de rayón recubierto de aluminio Peso: 580 + – 50 g/m<sup>2</sup> (17oz/yarda<sup>2</sup>). Material de barrera eficiente para alta temperatura y durabilidad superior.</p>	
Mandil de rayón aluminizado	<p>Todas las uniones son internas, cosidas con hilo kevlar, resistente a altas temperaturas. Adecuado para fundiciones, cámaras calientes, aproximación al fuego. Medidas: Largo de 70 cm. x ancho de 95 cm., para dar protección al cuerpo del usuario en las labores diarias de acercamiento al fuego.</p>	

Guantes de rayón aluminizado	<p>Cosido con hilo kevlar, resistente a altas temperaturas.</p> <p>Forro interior de franela de algodón para mayor comodidad del usuario.</p> <p>El refuerzo de cuero cromo en palma sirve para contacto con instrumentos calientes y dar mayor resistencia abrasiva al equipo.</p>	
Escafandra de rayón aluminizado	<p>Protege de radiación, a la zona de la cabeza y está compuesta por un visor claro, para dar mejor visibilidad al usuario.</p> <p>Tiene un largo de 70 cm., para proteger la mayor área del cuerpo.</p>	

*Nota.* Toda la descripción acerca de los materiales y equipos lo encuentran en la página de (T&V Seguridad, 2023)

### 3.9 Metodología experimental

La metodología utilizada para realizar pruebas de lixiviación y determinar la cantidad de oro presente en cada una se visualiza en el siguiente diagrama de bloques:

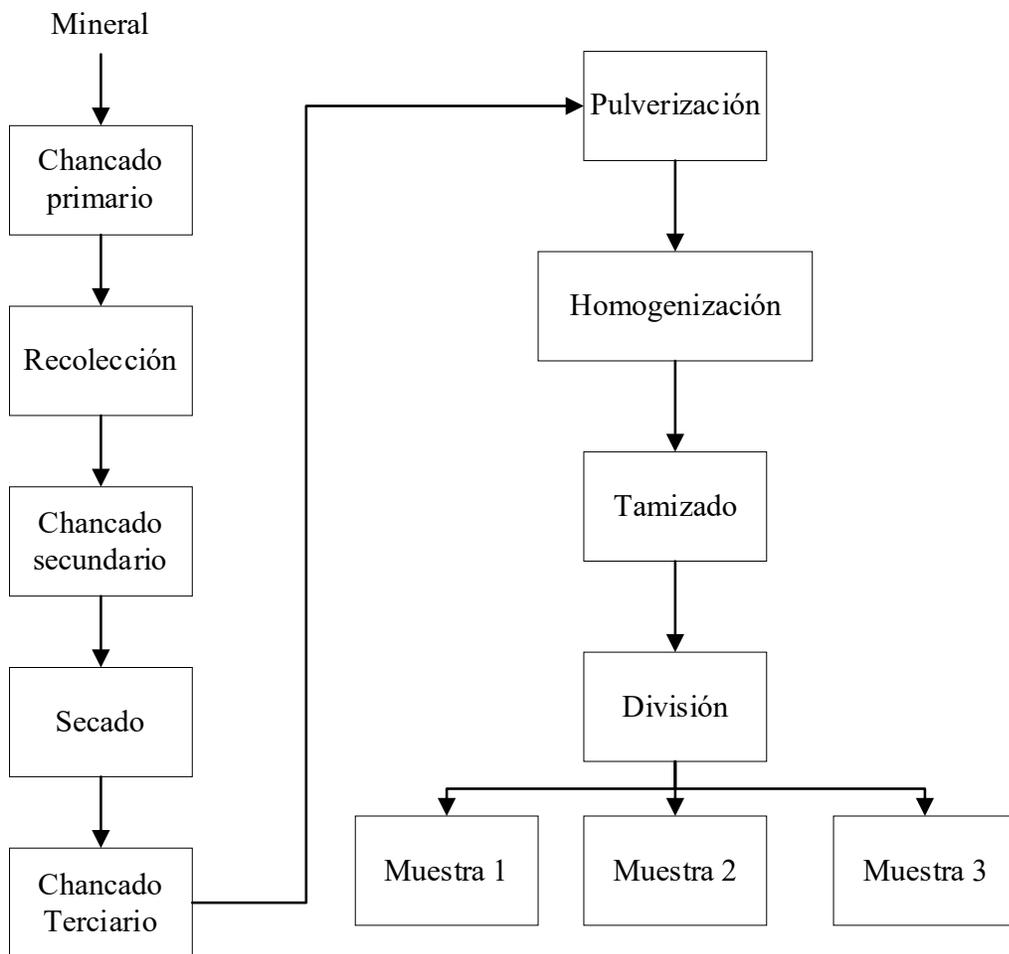


### 3.9.2 Muestreo y acondicionamiento del mineral

El siguiente diagrama de bloques muestra las operaciones previas a la lixiviación. Cabe destacar que, estos procedimientos son importantes para obtener muestras representativas, parámetros de operación y resultados exactos.

**Figura 12**

*Diagrama de bloques de muestreo y preparación mecánica.*



### 3.9.2.1 Recolección de mineral

Para la recolección, se tomó como punto de muestreo la faja alimentadora que transporta mineral desde la tolva “Mina” al molino de bolas “Funcal 6’Ø x 6’ N°1”. Con el fin de obtener una muestra representativa, el muestreo se hizo de manera manual – sistemática usando el método de incremento a tiempos constantes de 30 min valiéndose de una pala Jiss hasta obtener 70 kg de mineral aproximadamente. La cantidad total se redujo mediante el método de rifles usando un divisor Johnes de 3 niveles hasta conseguir 35kg aproximadamente considerando que este tiene una humedad promedio de 1.3% según datos proporcionados por Laboratorio Químico.

**Tabla 17**

*Estimación de mineral necesario para ensayos químicos y metalúrgicos.*

Tipo de Prueba	Cantidad
Cianuración	12 kg
Curva cinética	6 kg
Contramuestras	12 kg
Otros	5 kg
Total	35 kg

### 3.9.2.2 Preparación mecánica del mineral

La metodología operativa aplicada para la preparación mecánica y posteriores ensayos al fuego de minerales siguen los estándares operativos basados en la norma de estandarización JIS M 8101, ISO 12740:1998 e ISO 17025:2005

Como primer paso se colocó el mineral en bandejas metalúrgicas de acero inoxidable e introdujeron a la estufa de secado Grieve que opera a 105 °C. Se realizó el secado tomando

muestras de humedad por gravimetría en intervalos de tiempo establecidos. El mineral seco se somete a chancado terciario en el equipo Rocklabs Boyd Elite para alcanzar una granulometría malla #10 con un 87% de pasante. Para continuar reduciendo la granulometría hasta la malla #200 el mineral es pulverizando en el equipo RockLabs con ollas de discos de capacidad de 1kg. Se estimó un tiempo de 7 minutos por kilogramo basándose en experimentos previos. El polvo mineral fue colocado en baldes, a continuación, procedió a homogenizar la muestra total mediante el método de roleo en manta y cuarteo en el divisor Johnes durante 4 ciclos para asegurar la representatividad. La muestra ya homogenizada se separó en 4 partes iguales de 8.75 kg cada una. Finalmente, se tomó 400g de muestra mineral para realizar prueba de tamices y verificar si la muestra cumplía con la granulometría adecuada para las pruebas de lixiviación el cual es de 80% de pasante de la malla # 200.

### **3.9.2.3 Determinación de la densidad del mineral**

Se tomo 400g de mineral y se colocó en un tubo de ensayo de 1.5L añadiendo 1l de agua. la muestra se sedimentó por 20 minutos. La densidad se determinó utilizando la ecuación:

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m} \quad (28)$$

el resultado fue comparado con el valor de densidad del cuarzo blanco el cual es de 2.65 g/cm<sup>3</sup> según (Hoyos et al., 2015) ya que el mineral aurífero del Valle de San Juan de Chorunga se encuentra en matriz de cuarzo

**Tabla 18***Densidad del Cuarzo Blanco*

Muestra	m (g)	V (cm3)	D (g/cm3)
M1	63	23.8	2.65
M5	63	23.8	2.65
M7	63	23.8	2.65
M11	63	23.9	2.64

*Nota.* Los datos brindados por el autor sirven como referencial para validar el valor de densidad de mineral obtenido el laboratorio.

**3.9.2.4 Determinación de las densidades de pulpa**

Se calculó el volumen de agua necesario para obtener los valores fijados en cada nivel para la variable de densidad de pulpa fijad mediante la ecuación:

$$\rho_p = \frac{m_m + m_w}{V_m + V_w} \quad (29)$$

Se tiene como base de cálculo 400g de mineral. Tener en cuenta que esta ecuación solo se utiliza cuando los componentes no tienen ninguna interacción física, molecular ni huecos entre si (Blanco, 2018).

El mineral fue acondicionado con el volumen adecuado de agua para alcanzar la densidad de pulpa requerido por el diseño experimental planteado anteriormente, esto implica también la alcalinización y cianuración para alcanzar la concentración adecuada para los experimentos.

**3.9.2.5 Alcalinización de pulpa**

Como primer paso se tomó el pH natural de las muestras antes de alcalinizar. Enseguida se añadió solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10% hasta alcanzar el pH de 11. Los valores

para cada corrida experimental fueron registrados en formatos brindados por el área de investigación metalúrgica. El pH fue medido con papel tornasol.

### 3.9.2.6 Cianuración

La pulpa alcalinizada fue agitada por 5 minutos para descartar posibles disminuciones de pH debido a compuestos ácidos que podrían encontrarse en el mineral.

Para calcular la cantidad de cianuro de sodio (NaCN) se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{NaCN} = \frac{V_p * f_{NaCN}}{C_{NaCN} * P_{NaCN}} \quad (30)$$

Donde:

- $V_{NaCN}$ : Volumen de Solución de NaCN al 30% a reponer
- $V_p$ : Volumen de solución en pulpa
- $f_{NaCN}$ : Concentración de cianuro deseada en pulpa
- $C_{NaCN}$ : Concentración de la solución cianurada (30%)
- $P_{NaCN}$ : Pureza de Cianuro de Sodio (98%)

Comprobado el pH, se añadió el volumen necesario de solución cianurada al 30% para alcanzar los niveles fijados para la variable concentración de cianuro.

### 3.9.3 Pruebas de Lixiviación

Las pulpas acondicionadas fueron cianuradas con el volumen de solución de cianuro de sodio determinada en los pasos anteriores iniciando así la lixiviación. Los vasos de precipitados de 2 litros fueron colocados en el equipo agitador para prueba de jarras rotulados respectivamente. Se graduó la velocidad de agitación del equipo según el diseño experimental de cada experimento.

### 3.9.3.1 Titulación

Las muestras se retiraron del agitador, se dejaron sedimentar por 10 minutos aproximadamente. se depositó 5 ml de la solución cianurada en un vaso de precipitado, enseguida se añadió 3 gotas de indicador Ioduro de Potasio al 5%. Se colmo la bureta con solución de nitrato de plata (8.66 g/l) y se procedió a titular hasta el viraje amarillento claro. Se anotó el volumen de solución de nitrato de plata gastado. La ecuación:

$$V_{rep} = C * 0.1V_g \quad (31)$$

Donde:

- $V_{rep}$ : Volumen de reposición de solución de cianuro de sodio al 30%
- $C$ : Concentración de cianuro deseada (g/l)
- $V_g$ : Volumen de titulante gastado.

determina el volumen de solución cianurada que se añadirá para reponer el lixivante consumido. Terminada la titulación, se devolvió los envases al equipo agitador. Los tiempos de titulación fueron 1 h, 4 h y 12 h.

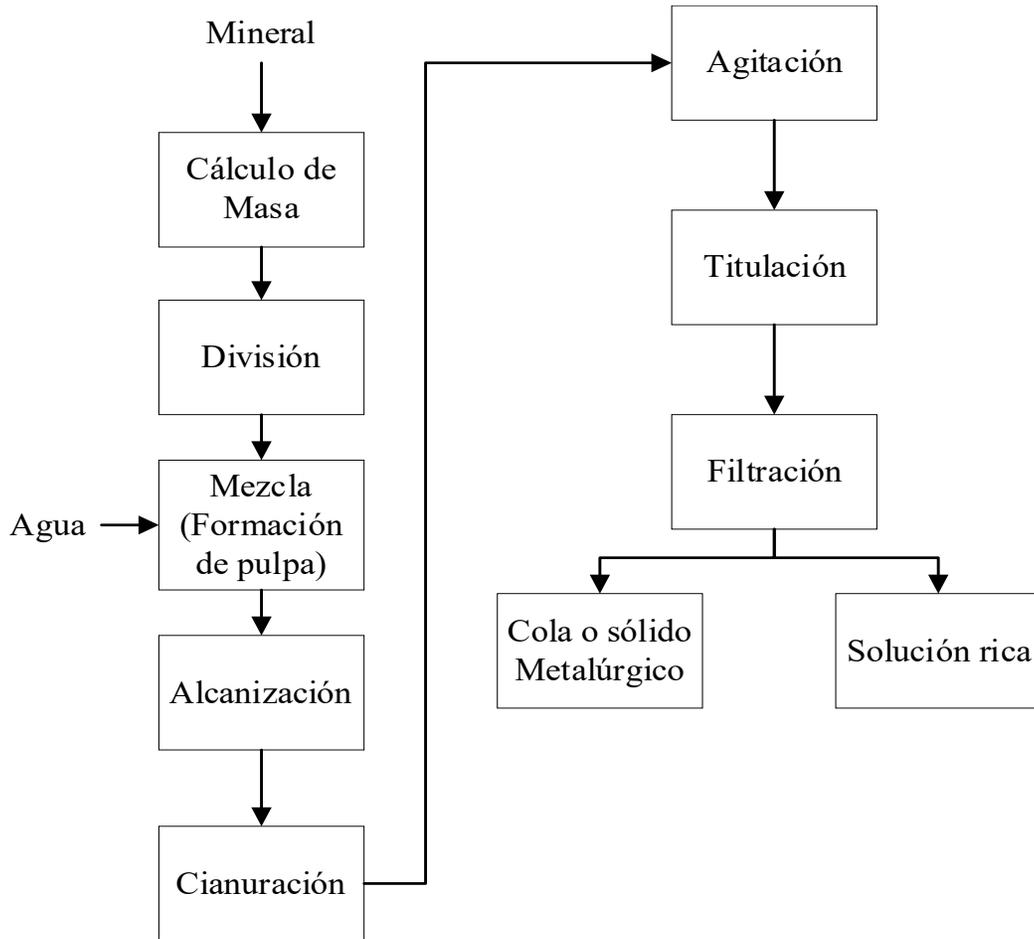
### 3.9.4 Filtración

Terminada la cianuración, se procedió a verter las pulpas en el filtro de pedestal. Se cerró y aseguró la tapa antes de inyectar aire a alta presión separando la solución rica o pregnant del solido de cola. Al término de la operación, se lavaron todos los componentes y procedió a filtrar las muestras siguientes. Los anteriores pasos se repitieron hasta terminar con el total de experimentos para el presente trabajo de investigación.

Los sólidos de cola fueron secados en una estufa a 100 °C, finalizado el tiempo, se desgrumó, homogenizo, muestro, ensobro y envió a laboratorio químico junto a sus respectivas soluciones pregnant para realizar los ensayos al fuego.

**Figura 13**

*Diagrama de flujo de pruebas metalúrgicas*



### **3.9.5 Determinación de la cantidad de oro**

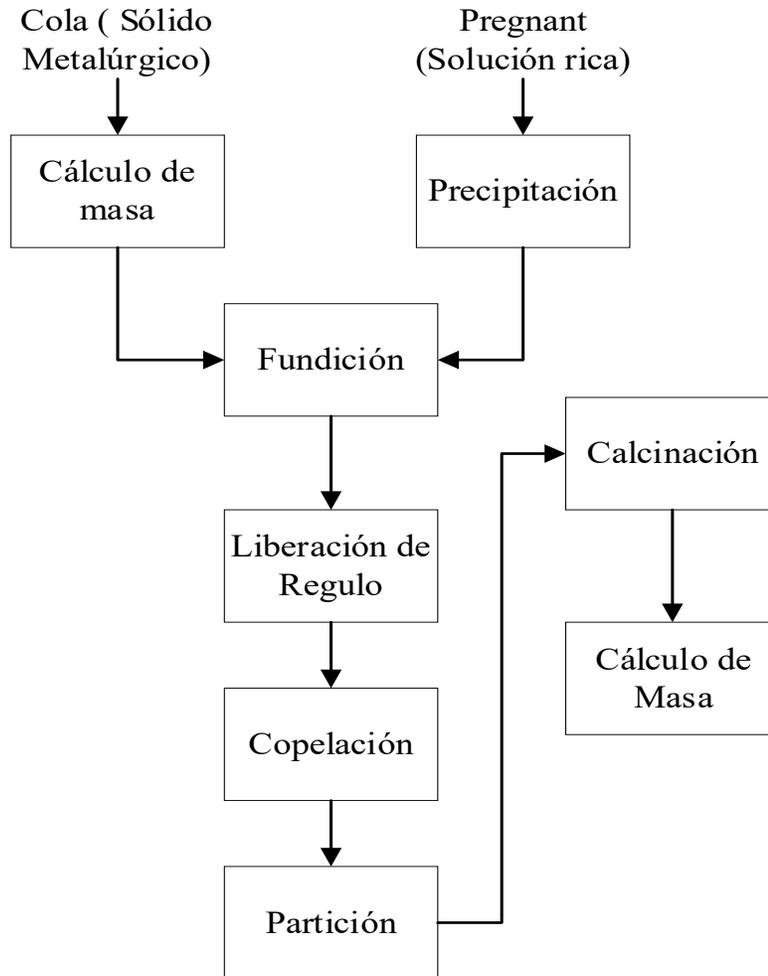
Para determinar las leyes de cabeza, se tomó 250 g aproximadamente de las partes de mineral pulverizado y homogenizado que se usó en cada corrida experimental. Estas serán ensayadas por triplicado para obtener una ley de cabeza precisa para los cálculos.

Se pesaron 20 g de cada muestra de cola, se dosificaron con 1.5 g aproximadamente de nitrato de potasio antes de ser fundidas. Las soluciones pregnant fueron precipitadas con solución extractiva y ácido sulfúrico concentrado para los ensayos. Se registro las leyes obtenidas de cada muestra y finalmente se determinó la recuperación de cada experimento.

Para determinar la ley de cabeza de mineral, las colas serán ensayadas por el método Fire Assay con el fin de valorar la cantidad de oro presente en cada una de las muestras. Los pasos a seguir se explican en el diagrama de flujo:

**Figura 14**

*Diagrama de Bloques del proceso de ensayo "Fire Assay"*



*Nota.* La determinación final de la ley por ensayos al fuego. Determina la cantidad de oro residual en los sólidos de cola y la cantidad de oro disuelto en las soluciones ricas. Usando estos valores se puede calcular la recuperación de oro.

### 3.9.6 Análisis de datos

Con el fin de analizar los datos obtenidos en laboratorio, se usó del software Microsoft Excel para almacenar datos, realizar cálculos y generar graficas. Por otro lado, los análisis estadísticos se realizaron en el software Statgraphics Centurion XVI con la finalidad de determinar el grado en el que las variables influyen en el proceso, la interacción entre ellas, sus efectos y el análisis que permitirá optimizar el proceso.

#### 3.9.6.1 Cálculo de recuperación de oro

Los datos obtenidos de los ensayos realizados fueron colocados en una hoja Excel para realizar los cálculos:

- Para determinar la recuperación:

$$\% \text{ Recuperacion} = \frac{\text{Ley}_{\text{Cabeza}} - \text{Ley}_{\text{Cola}}}{\text{Ley}_{\text{Cabeza}}} \times 100 \quad (32)$$

#### 3.9.6.2 Análisis de efecto de variables

Se utilizo el software estadístico Statgraphic Centurion XVI para estudiar el efecto de las tres variables consideradas en esta investigación.

### 3.9.7 Cinética de lixiviación

La cinética permite conocer como una reacción química se desarrolla, con que velocidad se aproxima al equilibrio químico y cuáles serán los efectos cuantitativos de cada uno de los agentes que influyen en esta (Izquierdo et al., 2004)

Una vez identificada la prueba con mayor recuperación, se realizarán 16 corridas en distintos tiempos para determinar la recuperación. usando las condiciones propias del ensayo

más conveniente. Obtenidos los resultados de laboratorio químico, se generará la curva de recuperación y será comparada con la curva anterior a la optimización.

**Tabla 19**

*Plan para la determinación experimental de la cinética de lixiviación.*

Rotulo	Tiempo de lixiviación	% Recuperación
1	0 min	-
2	5 min	-
3	10 min	-
4	2 min	-
5	30 min	-
6	40 min	-
7	50 min	-
8	1 h	-
9	2 h	-
10	4 h	-
11	6 h	-
12	8 h	-
13	48 h	-
14	72 h	-

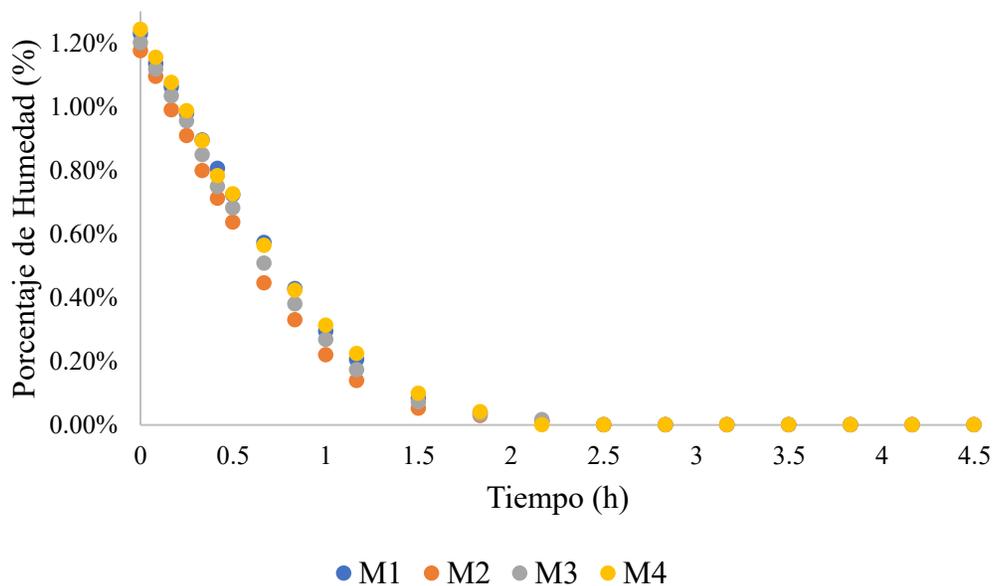
## 4. RESULTADOS

### 4.1 Resultados del muestreo y acondicionamiento del mineral

El mineral muestreado presento una humedad promedio de 1.21%. y fue necesario 2.5 h para secarlo por completo. La curva de secado obtenida es la siguiente:

**Figura 15**

*Curva de secado de mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga*



*Nota.* Los datos obtenidos fueron contrastados con información del área de laboratorio químico. Las pruebas de humedad se encuentran en la tabla 38 del anexo 1.

Después del chancado terciario, se logró pulverizar la muestra a malla # 200 con 77.48% de pasante en un tiempo de 7 min/kg de mineral. El parámetro de granulometría establecido es de malla # 200 con un pasante de 80%. Por lo tanto, el porcentaje de pasante obtenido de la pulverización es aceptable. Es importante evitar la sobrepulverización del mineral pues de hacerlo, se provocaría el laminamiento de los metales liberados, lo cual, disminuiría la precisión

del muestreo y por lo tanto alteraría negativamente los resultados de lixiviación pues las leyes de cabeza variarían considerablemente.

Los resultados de la prueba de tamices realizado en 400 g de muestra en el equipo RODTAP se encuentran en la tabla 20:

### **Figura 16**

*Recolección y Chancado secundario.*



### **Figura 17**

*Chancado terciario y pulverización.*



Para estimar el tiempo de pulverización necesario para alcanzar la granulometría deseada, se realizaron pruebas preliminares en la sección de preparación mecánica de muestras. Los datos se encuentran en las tablas 42 y 43 del anexo 1.

**Tabla 20***Análisis Granulométrico de mineral pulverizado*

<b>N° de Malla</b>	<b>Apertura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Pasante (g)</b>	<b>Porcentaje de Pasante (%)</b>
#100	150	9.1	2.28%
#140	106	21.3	5.35%
#170	90	59.3	14.88%
#200	75	130.1	32.66%
#270	53	103.6	26.00%
#325	45	58.7	14.73%
#400	38	16.3	4.09%
Total (g)		398.4	99.60%
Perdida (g)		1.6	0.40%
<b>%Malla 200</b>			<b>77.48%</b>

#### 4.1.1 Determinación de la densidad de pulpa

Se determinó que la densidad del mineral aurífero es de  $2.77 \text{ g/cm}^3$ . Los resultados se ven a continuación:

**Tabla 21***Datos para la determinación de la densidad del mineral.*

Peso mineral (g)	400
Vmin Exp. (cm <sup>3</sup> )	144.3
Peso agua (g)	800
Volumen agua (cm <sup>3</sup> )	1000
Peso total (g)	1400
Volumen final (cm <sup>3</sup> )	1144.3
Densidad mineral (g/cm <sup>3</sup> )	2.772

La base de cálculo para la densidad de pulpa fue de 400 g de mineral. Usando la ecuación n° 25 y con los datos de la tabla 21 se tiene:

$$\rho_p = \frac{m_m + m_w}{V_m + V_w}$$

De la ecuación, se despeja  $V_w$  (l) con la finalidad de determinar el volumen necesario de agua en litros para alcanzar una pulpa de 1500 g/l usando 400g de mineral como base de cálculo:

$$V_w = \frac{m_m + m_w}{\rho_p} - V_m$$

$$V_w = \frac{400_g + 367_g}{1500_{g/l}} - 0.144_l$$

$$V_w = 0.367 \text{ (1)}$$

Se realizó el mismo calculo para 1350 g/l y 1200 g/l. el volumen de agua necesario para alcanzar dichos valores de densidad de pulpa se muestra a continuación:

**Tabla 22**

*Variación de las Densidades de Pulpa Según la Cantidad de Agua*

Densidad de pulpa (g/L)	Volumen de Agua (ml)
1500	367
1350	587
1200	1135

#### **4.1.2 Acondicionamiento y cianuración**

##### **4.1.2.1 Alcalinización**

El volumen total de solución de hidróxido de sodio al 10% añadido a cada experimento para elevar el pH de cada pulpa a 11 fueron los siguientes:

**Tabla 23**

*Volumen de Solución de Hidróxido de Sodio al 10% para alcalinizar pulpas*

Densidad de pulpa (g/L)	Solución de NaOH (ml)
1500	7.3
1350	9.5
1200	12.2

## Figura 18

### *Alcalinización de pulpa*



A lado izquierdo de la figura 18 se tomó el pH natural de pulpa siendo este 7, a la derecha, se tomó el pH alcalinizado con valor de 11.

## Figura 19

### *Reactivos de alcalinización y cianuración*



#### 4.1.2.2 Cianuración

Para calcular el volumen de solución cianurada necesaria para alcanzar concentraciones de 0.1g/l o 100 ppm en una pulpa de 1500 g/l, se reemplaza en la ecuación 23:

$$V_{NaCN} = \frac{374.3 * 0.1}{30 * 0.98}$$

$$V_{NaCN} = 1.27ml$$

Los resultados de volumen de solución de cianuro de sodio al 30% que se añadió a las distintas densidades de pulpa para alcanzar concentraciones de 100, 250 y 400 ppm se expresan en la tabla 24. El cálculo de los volúmenes de reposición de solución cianurada al 30% se encuentra en la tabla 45 del anexo 2.

**Tabla 24**

*Volumen de solución cianurada al 30% a añadir según la densidad de pulpa.*

Concentración de NaCN en pulpa	Volumen de solución de NaCN al 30%		
	1500 g/l	1350 g/l	1200 g/l
0.1	1.27	2.03	3.90
0.25	3.18	5.07	9.76
0.4	5.09	8.12	15.61

**Figura 20**

*Agitación de las pruebas de lixiviación*



#### **4.2 Influencia de las variables**

Para minimizar la heterogeneidad de la muestra y obtener resultados más precisos se determinó una ley de cabeza para cada corrida experimental. Las leyes de cabeza se obtuvieron al promediar los valores del ensayo por triplicado del mineral usado en cada corrida experimental.

Dichos valores se presentan a continuación:

**Tabla 25**

*Ley de Cabeza para las Corridas Experimentales*

<b>Corrida Experimental</b>	<b>Reporte de ley de cabeza (g/TM)</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	<b>promedio</b>
Corrida 1	29.74	31.1	30.9	<b>30.58</b>
Corrida 2	28.99	30.1	30.66	<b>29.92</b>
Corrida 3	30.11	29.67	29.11	<b>29.63</b>

La cantidad de oro residual presente en el sólido de cada experimento filtrado conocido como ley de cola se reportan en la siguiente tabla:

**Tabla 26***Reporte de leyes de cola en g/TM*

N°	Corrida N°1	Corrida N°2	Corrida N°3
1	0.93	1.62	1.25
2	5.37	4.97	4.43
3	6.89	6.39	6.16
4	5.03	3.08	2.8
5	2.57	2.71	2.93
6	3.76	2.99	2.89
7	4.69	3.57	3.73
8	0.68	0.18	0.31
9	5.19	4.44	4.07
10	6.13	4.98	4.61
11	3.87	3.91	3.26
12	2.44	2.52	2.92
13	3.34	4.05	3.55
14	1.41	1.11	1.71
15	3.17	3.65	4.41

Para determinar la recuperación final se usó la ecuación 25:

$$\% \text{ Recuperacion} = \frac{\text{Ley}_{\text{cabeza}} - \text{Ley}_{\text{cola}}}{\text{Ley}_{\text{cabeza}}} \times 100$$

$$\% \text{ Recuperacion} = \frac{30.58 - 0.93}{30.58} \times 100$$

$$\% \text{ Recuperacion} = 96.96$$

Aplicada la ecuación a los datos, se obtuvieron las recuperaciones ensayadas de cada experimento.

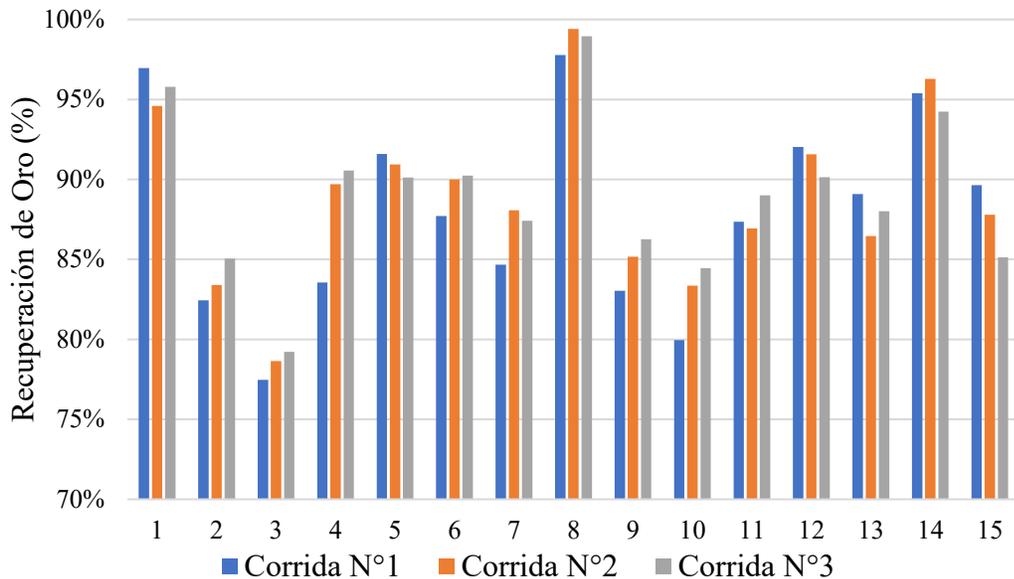
**Tabla 27***Recuperación de oro ensayada en las 3 corridas experimentales*

<b>N°</b>	<b>Corrida N°1</b>	<b>Corrida N°2</b>	<b>Corrida N°3</b>
1	97.78%	99.4%	98.96%
2	83.03%	85.16%	86.26%
3	92.02%	91.58%	90.24%
4	77.47%	78.64%	79.21%
5	95.39%	96.29%	94.23%
6	79.95%	83.36%	84.44%
7	96.28%	94.59%	95.78%
8	82.44%	83.39%	85.05%
9	91.6%	90.94%	90.11%
10	84.66%	88.07%	87.41%
11	83.55%	89.71%	90.55%
12	87.34%	86.93%	89%
13	89.09%	90.01%	90.34%
14	87.7%	86.46%	88.14%
15	89.63%	87.8%	85.12%

La prueba N°3 y sus réplicas obtuvieron las recuperaciones más bajas con un valor promedio de 78.43%, por otro lado, la prueba N°8 brindó los mejores resultados con un promedio de recuperación del 98.70% y alcanzando un pico máximo de 99.39% en sus repeticiones.

**Figura 21**

*Recuperación de oro ensayada en las tres corridas experimentales*



En el gráfico se puede observar de mejor manera que los valores de recuperación ensayada más altas ocurren en el experimento n° 8 donde se aplicó concentración de cianuro es de 100 ppm, densidad de pulpa de 1200 g/l y 33 rpm.

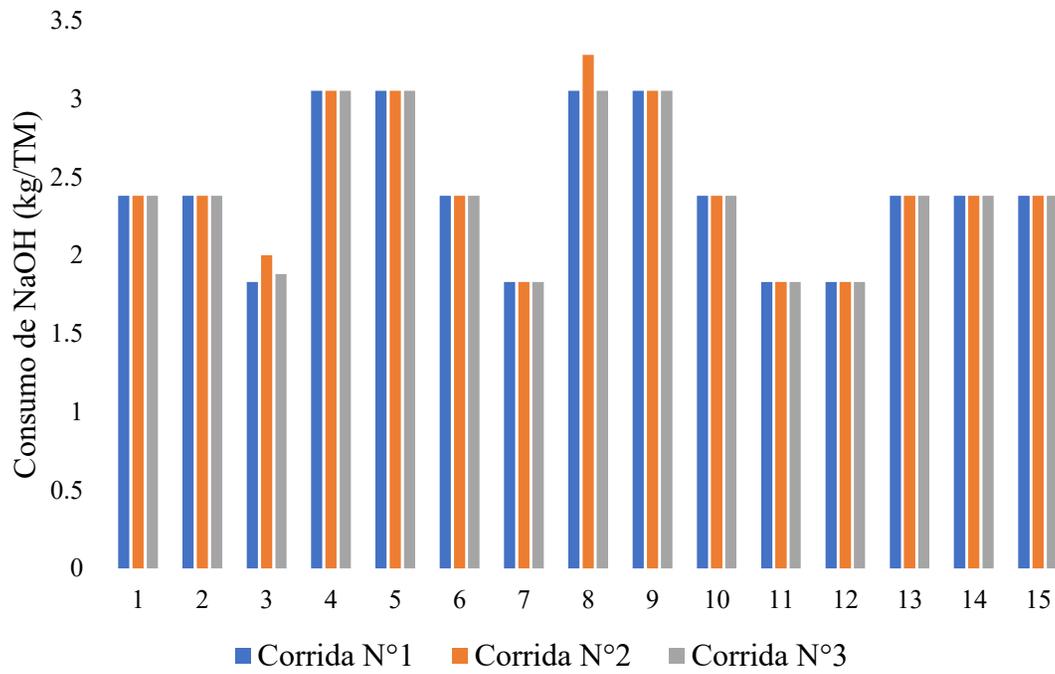
El consumo de reactivos está en función de la densidad de pulpa, siendo las pulpas más densas las que menos cantidad de solución NaOH al 10% y cianuro de sodio al 30%

La cantidad de hidróxido de sodio necesaria en el proceso es de 1.83 kg/TM como valor mínimo y 3.05 kg/TM como máximo. De igual manera el consumo de cianuro de sodio es de 1.10 kg/TM y 3.05 kg/TM en las pulpas menos densas.

El consumo de Hidróxido de Sodio y Cianuro de Sodio en kg/TM de cada corrida experimental en las siguientes figuras:

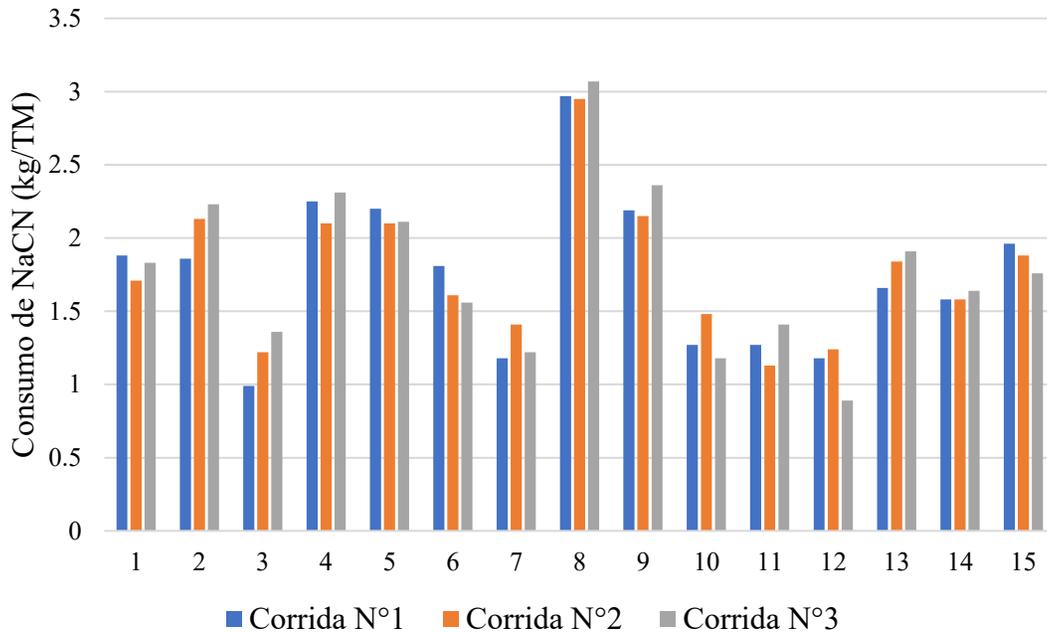
**Figura 22**

*Consumo de Hidróxido de Sodio*



**Figura 23**

*Consumo de Cianuro de Sodio*



#### 4.2.1 Analisis estadístico

Como paso preliminar al análisis de varianza ANOVA, se realizaron las pruebas de bondad de ajuste para asegurar que los datos obtenidos se ajustan a un modelo normal.

##### 4.2.1.1 Pruebas de Normalidad.

- Prueba de residuos:

Utilizando la herramienta estadística Statgraphics se encontraron los residuos de la variable respuesta, estos son:

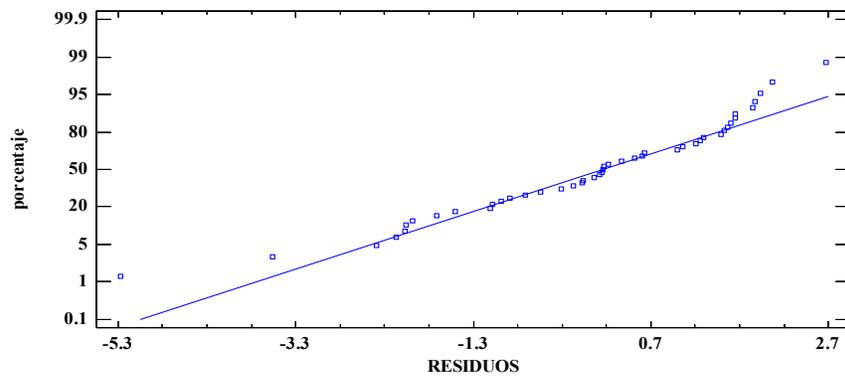
**Tabla 28**

*Comparación entre recuperación y residuos.*

<b>Residuos</b>	<b>Recuperación</b>
-0.991111	90.94
-0.307778	86.93
·	·
·	·
·	·
1.65239	85.05
-2.39261	90.24
-0.545111	88.14

**Figura 24**

*Gráfico de residuos.*



La figura 24 muestra que los puntos en la línea de probabilidad indican desviaciones significativas de la normalidad.

- Prueba de Shapiro Wilks:

La prueba fue aplicada a la variable respuesta mediante ajuste de datos no censurados con el fin conocer si los resultados de la investigación se adecuan a una distribución normal. La prueba tuvo como resultado:

**Tabla 29**

*Prueba de Shapiro Wilks.*

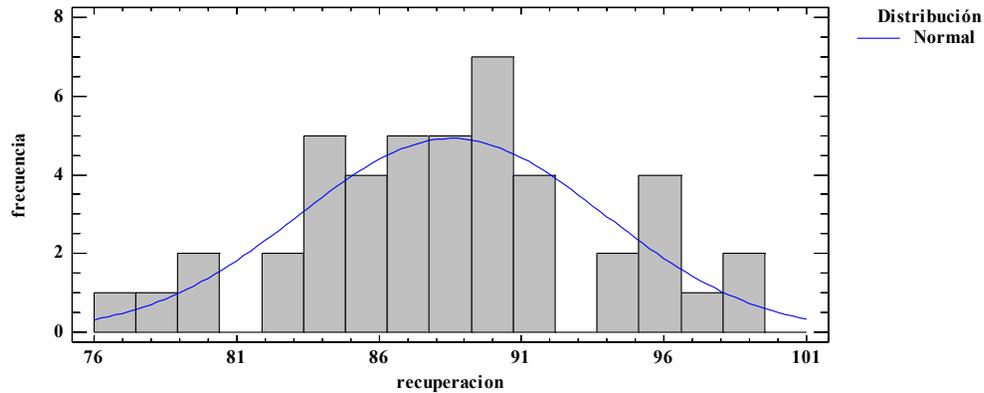
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.975377	0.595667

Obtenido el valor de -P mayor a 0.05, se determina que no se puede rechazar la idea que el porcentaje de recuperación proviene de una distribución normal con un 95% de confianza. Por tanto, la prueba de Shapiro Wilks afirma que la investigación se modela con una distribución normal.

- Prueba Grafica:

**Figura 25**

*Histograma*



En el grafico anterior se observa una curva distribuida simétricamente de izquierda a derecha correspondiendo a una distribución normal según (Ángel et al., 2006).

- Prueba de Bartlett

Esta suposición es importante para la validez de ciertos métodos estadísticos, como el ANOVA, y verificar que el experimento se encuentra dentro de la normalidad, la prueba de Levene o la prueba de Bartlett comparan las varianzas entre grupos y pueden proporcionar evidencia sobre si se puede asumir la homogeneidad de varianzas (Correa et al., 2006).

Tabla 30

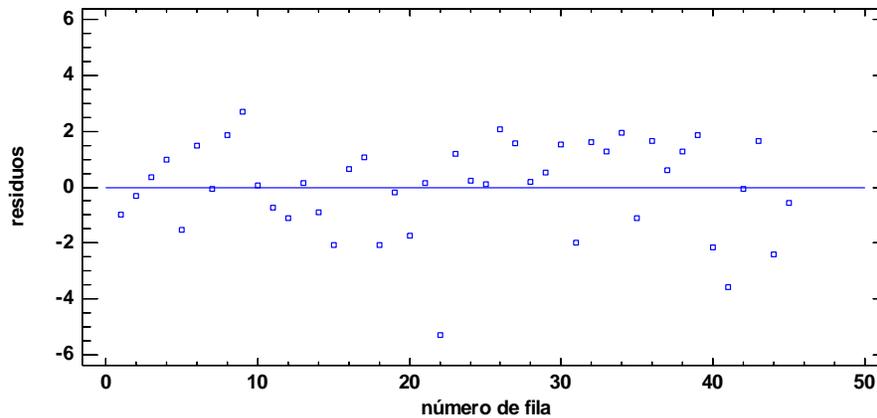
*Prueba de Bartlett*

Variable	Estadístico	Valor-P
Concentración de cianuro	1.06475	0.279866
Densidad de Pulpa	1.06475	0.279866
Velocidad de Agitación	1.00958	0.824031

De la tabla anterior analizamos que el valor-P en cada variable es mayor o igual que 0.05, y no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza teniendo evidencia de Homogeneidad de varianzas en el conjunto de datos, quiere decir que las comparaciones entre los grupos son equitativas.

**Figura 26**

*Gráfico de residuos vs concentración de cianuro, densidad de pulpa y agitación*



De la figura anterior de residuos se utiliza para verificar si las dispersiones de los residuos son constantes en todo el rango de valores predichos. En los tres casos se observa el mismo patrón, Los residuos se distribuyen aleatoriamente a lo largo del rango de valores

predichos. Puede haber oscilaciones, agrupamientos o cualquier patrón que no sea aleatorio indicando la Homogeneidad en el proceso. En otro estudio (Da cunha et al., 2015) observa que esta distribución no presenta una tendencia de estimativa (subestimación ó superestimación) demostrando una distribución homogénea de los datos. Este requisito es decisivo y de gran importancia para la confiabilidad de las estimaciones.

- Independencia de Variables

En el caso de la independencia de variables la desviación estándar tiene que ser igual en cada bloque respaldando la homogeneidad y aceptando la Hipótesis nula.

### **Tabla 31**

*Comparación Residuos vs Concentración de Cianuro*

<b>Comparación</b>	<b>Sigma1</b>	<b>Sigma2</b>	<b>P-Valor</b>
100 / 250	1.5951	1.26755	0.3581
100 / 400	1.5951	2.26965	0.2575
250 / 400	1.26755	2.26965	<b>0.0229</b>

La tabla 31 muestra una semejanza aproximada entre sigma 1 y sigma 2 en el primer caso con un valor  $P > 0.05$ , respaldando que la concentración de cianuro no depende de otras variables.

**Tabla 32***Comparación Residuos vs Densidad de pulpa*

<b>Comparación</b>	<b>Sigma1</b>	<b>Sigma2</b>	<b>P-Valor</b>
1200 / 1350	1.34328	1.7952	0.3234
1200 / 1500	1.34328	1.74082	0.4032
1350 / 1500	1.7952	1.74082	0.9507

La tabla 32 muestra una semejanza aproximada entre sigma 1 y sigma 2 en el tercer caso con un valor  $P > 0.05$ , Esta comparación respalda que la densidad de pulpa no depende de otras variables.

**Tabla 33***Comparación Residuos vs Agitación*

<b>Comparación</b>	<b>Sigma1</b>	<b>Sigma2</b>	<b>P-Valor</b>
16 / 33	1.74397	1.66996	0.8312
16 / 50	1.74397	1.3569	0.4182
33 / 50	1.66996	1.3569	0.4839

La tabla 33 muestra una semejanza aproximada entre sigma 1 y sigma 2 en el primer caso con un valor  $P > 0.05$ , Esta comparación respalda que la agitación no depende de otras variables.

De la herramienta StatGraphic obtenemos la siguiente información.

- Hipótesis Nula:  $\sigma_1 = \sigma_2$
- Hipótesis Alt.:  $\sigma_1 < o > \sigma_2$
- Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

Por ende, como se observa en las tres tablas anteriores, se acepta la hipótesis nula en cada caso ya que la desviación estándar tiene cierta semejanza en comparación con los otros bloques concluyendo que existe una variación normal. En estudio realizado por Carlos & Cerron, (2016) asumen que la independencia de variables se puede establecer un grado de correlación entre las otras variables con el fin de determinar si los resultados se mantienen o cambian.

#### 4.2.1.2 Análisis de Varianza ANOVA

Los resultados del análisis de Varianza obtenidos del Software estadístico Statgraphics Centurion XVI

**Tabla 34**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para la recuperación de oro*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: cianuro	989.964	1	989.964	268.27	0
B: pulpa	123.67	1	123.67	33.51	0.0012
C: agitación	0.141067	1	0.141067	0.04	0.8514
AA	2.78309	1	2.78309	0.75	0.4185
AB	0.837408	1	0.837408	0.23	0.6507
AC	0.476008	1	0.476008	0.13	0.7318
BB	2.16485	1	2.16485	0.59	0.4728
BC	11.9401	1	11.9401	3.24	0.1222
CC	2.89525	1	2.89525	0.78	0.4098
bloques	11.1163	2	5.55816	1.51	0.2951
Falta de ajuste	96.8284	27	3.58624	0.97	0.5718
Error puro	22.1409	6	3.69016		
<b>Total (corr.)</b>	<b>1265.35</b>	<b>44</b>			

---

$R^2 = 90.5979 \%$

$R^2$  (ajustada por g.l.) = 87.4639 %

Error estándar del est. = 1.92098

Error absoluto medio = 1.2751

Estadístico Durbin-Watson = 2.00635 (P=0.4070)

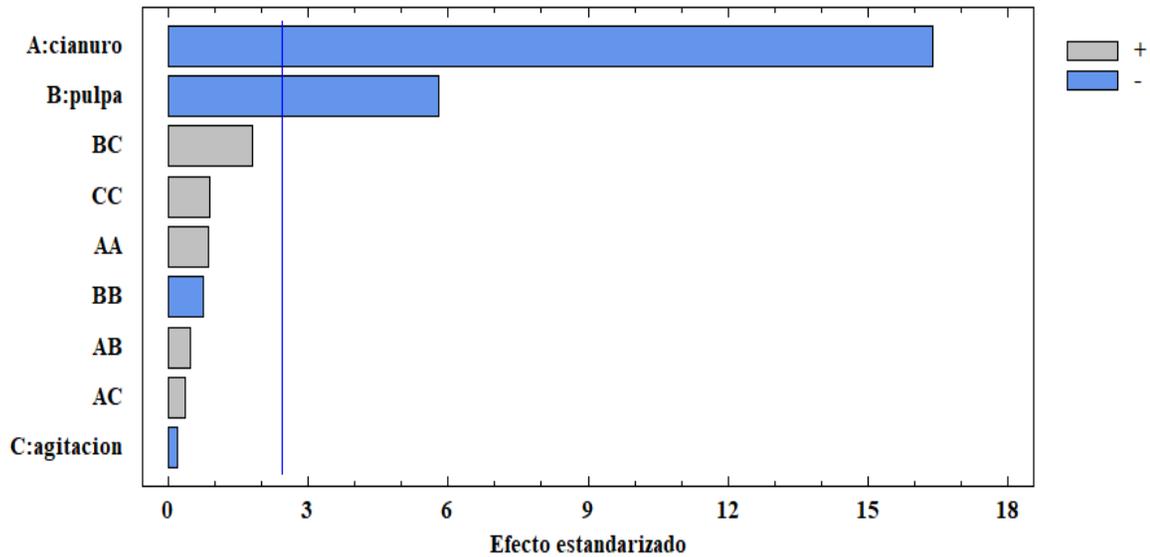
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.00855368

---

En este análisis, se identificaron las variables significativas y clínicamente importantes en el proceso de lixiviación para la recuperación de oro son la concentración de cianuro y la densidad de pulpa con un valor de P igual a 0 y 0.0012 respectivamente. La velocidad de agitación tiene un valor -P igual a 0.8514; de igual manera las interacciones entre variables presentan un valor P superior a 0.05 con lo cual no se concluye que haya una diferencia significativa por lo que no tiene importancia.

**Figura 27**

*Diagrama de Pareto estandarizado para la recuperación de oro*

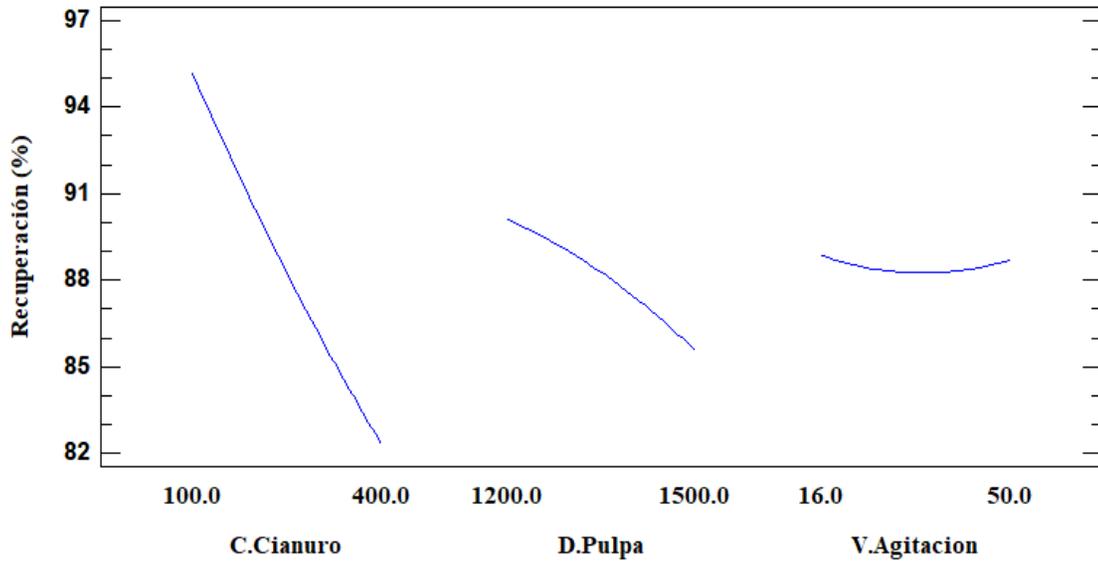


El eje vertical del diagrama de Pareto representa el impacto y contribución de cada factor mientras que el eje horizontal enumera factores en orden descendente de su contribución. Del diagrama se puede concluir estadísticamente que las variables que influyen significativamente en la recuperación de oro es la concentración de cianuro seguida de la densidad de pulpa pues las barras superan la línea de vertical azul de referencia que posee un valor de 2.31 con nivel de confianza de 0.05 según el modelo usado. La velocidad de agitación al igual que las interacciones entre variables no influyen en el porcentaje de recuperación de oro.

Esta grafica de Pareto muestra únicamente las dos variables significativas del proceso de lixiviación de mineral aurífero las cuales son la concentración de cianuro y la densidad de pulpa y las barras color azul indican que su impacto es positivo en el proceso cuando se aplican los niveles inferiores de cada factor.

**Figura 28**

*Gráfica de efectos de variables en la recuperación de oro*



La grafica muestra como la disminución de concentración de cianuro influye significativamente en el incremento del valor de recuperación de oro siendo este de 84% para una concentración de 400 ppm y subiendo a valores superiores de 95% a medida que la concentración es menor a 100 ppm. La pulpa más diluida con valor de 1200 g/l influye positivamente en la variable respuesta. Sin embargo, variar la velocidad de agitación no influye en la recuperación de oro.

En un estudio realizado por Marsden & House Lain, (2006) habla de una relación positiva entre la concentración de cianuro, densidad de pulpa y la recuperación de oro alegando que Las combinaciones de variables específicas pueden afectar la recuperación de manera significativa y que mayores valores en la variables están asociadas con mayores tasas de recuperación.

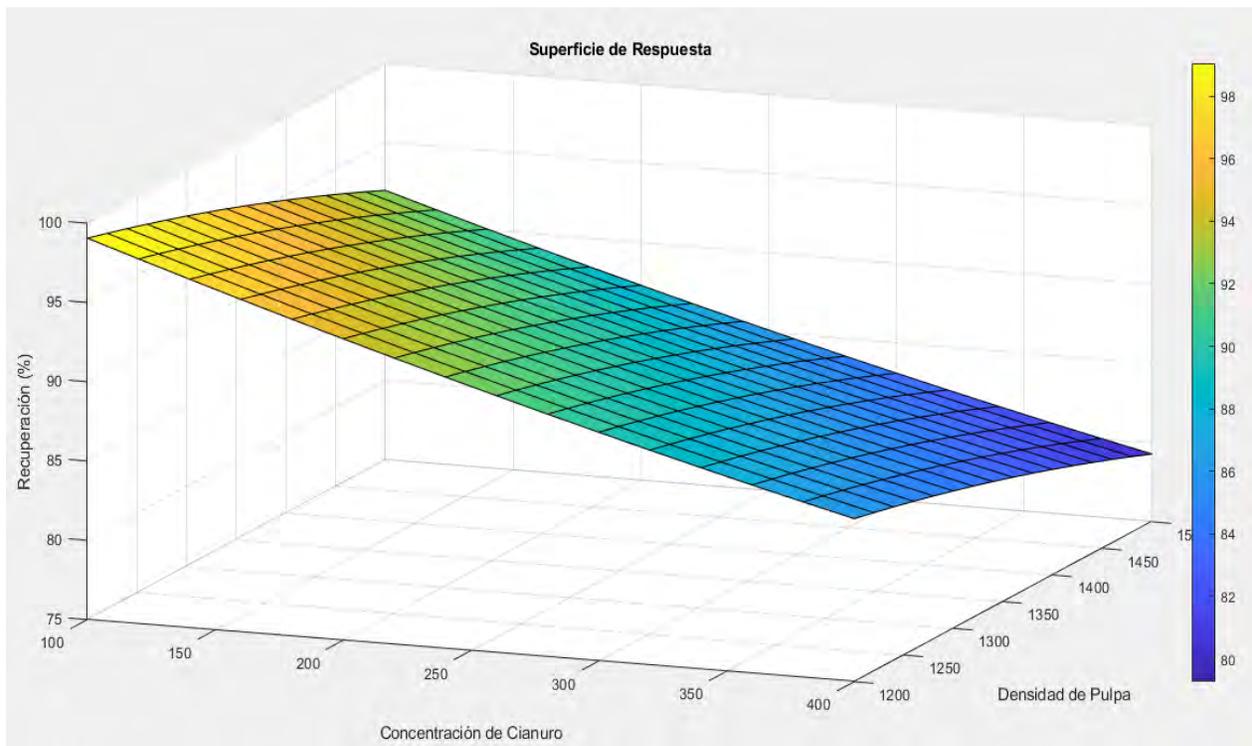
### 4.3 Optimización del proceso de lixiviación

El resultado grafico obtenido de aplicar el método de superficie respuesta Box-Behnken a partir de los datos generados de la corrida experimental que consta de 15 ensayos y dos repeticiones usando dos extremos y un punto medio.

Presenta una curvatura casi nula pues la influencia del cianuro de sodio en el eje X es casi lineal con pendiente negativa a medida que su valor en ppm se incrementa. La densidad de pulpa se refleja en el eje Y de la gráfica y presenta una ligera curvatura a medida que la densidad disminuye.

**Figura 29**

*Grafica de superficie respuesta estimada*

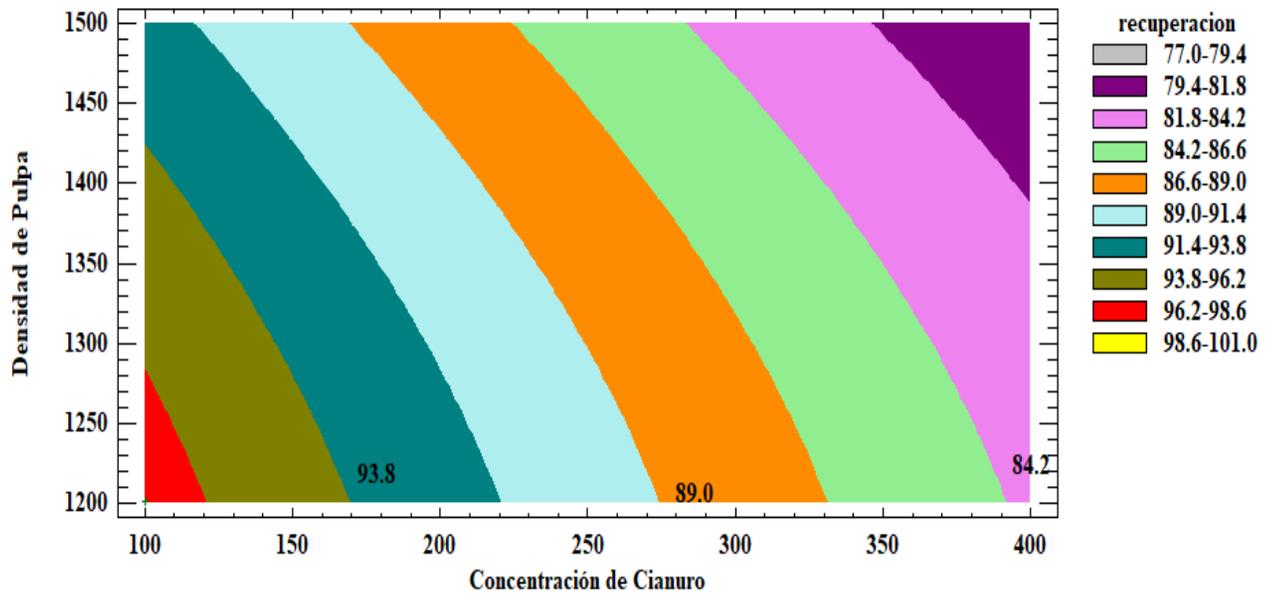


*Nota.* Debido a que la velocidad de agitación no es significativa, la gráfica considera una velocidad de agitación constante de 33 rpm.

En un modelo propuesto por Montgomery, (2008). Explica que aumentar los valores de variabilidad tendrá una mejora en los resultados en condiciones generales, sin embargo, esto no aplica en nuestro experimento ya que optamos por darle condiciones específicas y es ahí donde se encuentra diferencia una significativa

**Figura 30**

*Grafica de contorno para la recuperación de oro*



En la región inferior se aprecia un gráfico de contorno donde se visualiza la recuperación estimada en distintas áreas siendo el lado superior derecho coloreado de morado el que presenta menor recuperación de oro. El área pintada de rojo y en menor medida amarillo (extremo inferior izquierdo) presenta el mayor porcentaje de recuperación de oro con valores de 96.2 – 98.6% hasta 100%

Realizado la gráfica de superficie Box-Behnken, combinaron los niveles de los factores alto y bajo para maximizar la recuperación de oro. Para obtener el valor máximo de recuperación considerado el óptimo igual a 99.03% se debe lixiviar el mineral aurífero del valle de San Juan de Chorunga con una concentración de cianuro de sodio igual a 100 ppm, una pulpa con 1200.98 g/l de densidad y una velocidad de agitación de 16 rpm como se ve en la siguiente tabla.

**Tabla 35**

*Niveles óptimos para cada factor*

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
Concentración de Cianuro	100.0	400.0	100.0
Densidad de Pulpa	1200.0	1500.0	1200.98
Velocidad de Agitación	16.0	50.0	16.0214

Las variables estudiadas y optimizadas presentes en la Tabla 35 incrementaron el porcentaje de extracción de oro, que inicialmente era de 85% a 99.03% siendo este último dato, la variable respuesta optimizada. Por otro lado, la optimización influye positiva e indirectamente en otros factores operativos. A nivel laboratorio, facilita las operaciones de titulación y filtrado. A nivel de planta, operar con pulpas menos densas facilitaría el transporte a través de tuberías, la pulpa dispondría de más oxígeno disuelto y dificultaría la sedimentación de mineral fino. Por otro lado, las operaciones con velocidades de agitación menores, evitara el desgaste por abrasión de las paletas y paredes del tanque.

El valor optimizado de la concentración de cianuro, visibiliza que es necesario disminuir la concentración de 400 ppm a 100ppm lo cual incrementará considerablemente la recuperación de oro. En un estudio propuesto por Humberto & López, (2016) su tabla de contorno nos muestra que

los concentrados de cianuro se encuentran en la mínima cantidad esto con el fin de maximizar su conversión favoreciendo así la recuperación de oro.

**Tabla 36**

*Coefficiente de regresión para recuperación*

<i>Coefficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	109.08
A: cianuro	-0.072383
B: pulpa	0.0220727
C: agitación	-0.66888
AA	0.0000222778
AB	0.0000117407
AC	0.0000781046
BB	-0.0000196481
BC	0.000391176
CC	0.00176903

**Nota:** \*Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \%Rec. = & 109.08 - 0.072383 * CN + 0.0220727 * DP - 0.66888 * Ag + 0.0000222778 * CN^2 \quad (28) \\
 & + 0.0000117407 * CN * DP + 0.0000781046 * CN * Ag - 0.0000196481 \\
 & * DP^2 + 0.000391176 * DP * Ag + 0.0017603 * Ag^2
 \end{aligned}$$

En donde:

Rec.: Recuperación

CN: Cianuro

DP: Densidad de Pulpa

Ag: Agitación

La ecuación representa un modelo que intenta explicar como la recuperación de oro está influenciada por las concentraciones de Cianuro, pulpa y el nivel de agitación, considerando efectos lineales como no lineales, así como interacciones entre las variables. Así mismo nos ayuda a realizar predicciones y como los demás factores afectan nuestro proceso.

Para corroborar ello se utilizó el modelo de Gradiente Descendente esta utiliza como técnica matemática la Regresión Cuadrática para obtener los coeficientes de Regresión.

- Utilizando la Ecuación n° 16 modelaremos nuestra ecuación Cuadrática según los datos:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=i+1}^k \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + e$$

Teniendo como valor  $k=3$ ; por el número de variables independientes; se considera que hay términos lineales, cuadráticos y de Interacciones, estas al combinarse nos darán la Respuesta total en función de  $X = (A, B, C)$

Lineal:  $\sum_{i=1}^{k=3} \beta_i x_i = \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C$

Cuadrática:  $\sum_{i=1}^{k=3} \beta_{ii} x_i^2 = \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2$

Interacciones:  $\sum_{j=i+1}^k \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{ij} x_i x_j = \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC$

Ahora, juntamos todos los términos para formar la ecuación específica con tres variables independientes:

$$Y = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_3C + \beta_{11}A^2 + \beta_{22}B^2 + \beta_{33}C^2 + \beta_{12}AB + \beta_{13}AC + \beta_{23}BC$$

Teniendo como resultado la ecuación n° 17. Para Hallar estas constantes utilizaremos la técnica de regresión cuadrática mediante la herramienta Excel.

**Tabla 37**

*Datos para coeficiente de regresión para recuperación por Método de regresión Cuadrática.*

A	B	C	A^2	B^2	C^2	A*B	A*C	B*C	Y
100	1200	33	10000	1440000	1089	120000	3300	39600	97.78
400	1200	33	160000	1440000	1089	480000	13200	39600	83.03
100	1500	33	10000	2250000	1089	150000	3300	49500	92.02
400	1500	33	160000	2250000	1089	600000	13200	49500	77.47
250	1350	33	62500	1822500	1089	337500	8250	44550	87.8
100	1200	33	10000	1440000	1089	120000	3300	39600	98.96
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	..	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
250	1500	50	62500	2250000	2500	375000	12500	75000	89
250	1350	33	62500	1822500	1089	337500	8250	44550	90.34
250	1350	33	62500	1822500	1089	337500	8250	44550	88.14
250	1350	33	62500	1822500	1089	337500	8250	44550	85.12

**Tabla 38***Coefficientes de regresión para recuperación por Método de regresión Cuadrática*

	<i>Coefficientes</i>
Intercepción - B <sub>0</sub>	109.032659
Variable X 1- B <sub>1</sub>	-0.07237066
Variable X 2- B <sub>2</sub>	0.02213932
Variable X 3- B <sub>3</sub>	-0.66875336
Variable X 4- B <sub>11</sub>	2.2253E-05
Variable X 5- B <sub>22</sub>	-1.9673E-05
Variable X 6- B <sub>33</sub>	0.00176711
Variable X 7- B <sub>12</sub>	1.1741E-05
Variable X 8- B <sub>12</sub>	7.8105E-05
Variable X 9- B <sub>23</sub>	0.00039118

De esta tabla se puede apreciar que concuerdan con los datos de la tabla n° 36.

Para optimizar este modelo utilizando gradiente Ascendente, primero definimos la función de costo, típicamente el error cuadrático medio (MSE):

$$J(\beta) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_{11} X_{1i}^2 + \beta_{22} X_{2i}^2 + \beta_{33} X_{3i}^2 + \beta_{12} X_{1i} X_{2i} + \beta_{13} X_{1i} X_{3i} + \beta_{23} X_{2i} X_{3i}))^2$$

Para aplicar el gradiente Ascendente, necesitamos calcular los gradientes parciales de J(B) con respecto a cada coeficiente  $\beta_j$ . El gradiente vectorial es:

$$\nabla J(B) = \left[ \frac{\partial J}{\partial \beta_0}, \frac{\partial J}{\partial \beta_1}, \frac{\partial J}{\partial \beta_2}, \frac{\partial J}{\partial \beta_3}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{11}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{22}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{33}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{12}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{13}}, \frac{\partial J}{\partial \beta_{23}} \right]^T$$

Donde cada término del gradiente se calcula como:

$$\frac{\partial J}{\partial \beta_j} = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - f(X_i, \beta)) \frac{\partial f(X_i, \beta)}{\partial \beta_j}$$

Siendo esta la ecuación para Minimizar la Respuesta; Se cambiará el signo a la función:

$$\frac{\partial J}{\partial \beta_j} \rightarrow -\left(\frac{\partial J}{\partial \beta_j}\right)$$

Esto con el fin de Maximizar la Respuesta quedando de la siguiente manera:

$$\frac{\partial J}{\partial \beta_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - f(X_i, \beta)) \frac{\partial f(X_i, \beta)}{\partial \beta_j}$$

**Por consiguiente:**

Para calcular el gradiente en cada iteración del gradiente descendente:

- Evaluar la función de predicción  $f(A, B, C, \beta)$  para cada observación en “i”.
- Calcular la diferencia  $y_i - f(A, B, C, \beta)$  para cada observación “i”.
- Calcular los gradientes parciales utilizando las fórmulas proporcionadas.
- Remplazar los valores obtenidos en la ecuación hasta llegar al OPTIMO en la ecuación n° 20.

$$x_{i+1} = x_i - \alpha \nabla f(X_i)$$

De esta manera se llega a los puntos Óptimos deseados y para obtener los datos de las ecuaciones ya mencionadas nos ayudaremos del Software MATLAB, quien nos proporciona los siguientes resultados.

Valores óptimos:

Concentración de Cianuro óptimo: 100.00

Densidad de Pulpa óptimo: 1200.00

Velocidad de Agitación óptimo: 16.00

Recuperación predicha: 99.05%

#### 4.4 Cinética de lixiviación

Previamente al estudio cinético se comparó las leyes con los antecedentes locales y nacionales ya mencionados al inicio del trabajo y se determinó que es posible trabajar con los resultados de las pruebas de lixiviación, para determinar la curva cinética del proceso de lixiviación del mineral aurífero se muestra los siguientes datos obtenidos:

**Tabla 39**

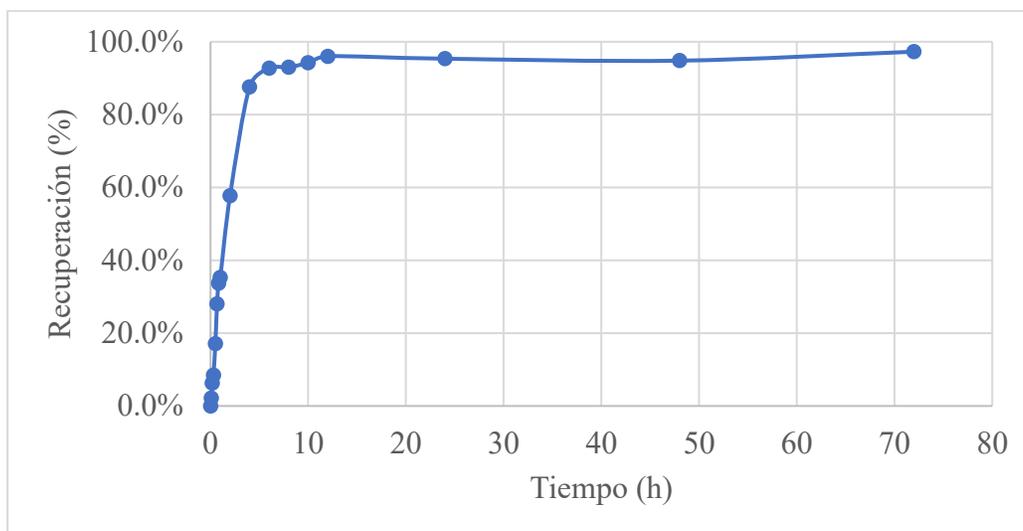
*Ensayos para determinar la curva cinética*

Tiempo (h)	Ley de Cola (g/TM)	Recuperación
0	29.63	0.00%
0.08	28.99	2.16%
0.17	27.78	6.24%
0.30	27.12	8.47%
0.50	24.55	17.14%
0.67	21.32	28.05%
0.83	19.64	33.72%
1	19.17	35.30%
2	12.53	57.71%
4	3.68	87.58%
6	2.15	92.74%
8	2.07	93.01%
48	0.66	97.77%
72	0.47	98.41%

La curva cinética se obtuvo realizando 16 experimentos en un tiempo límite de 72 h usando los parámetros óptimos del análisis anterior siendo estos: 100 ppm de cianuro de sodio, 1200 g/l para la densidad de pulpa y una agitación de 16 rpm.

**Figura 31**

*Cinética experimental de recuperación.*

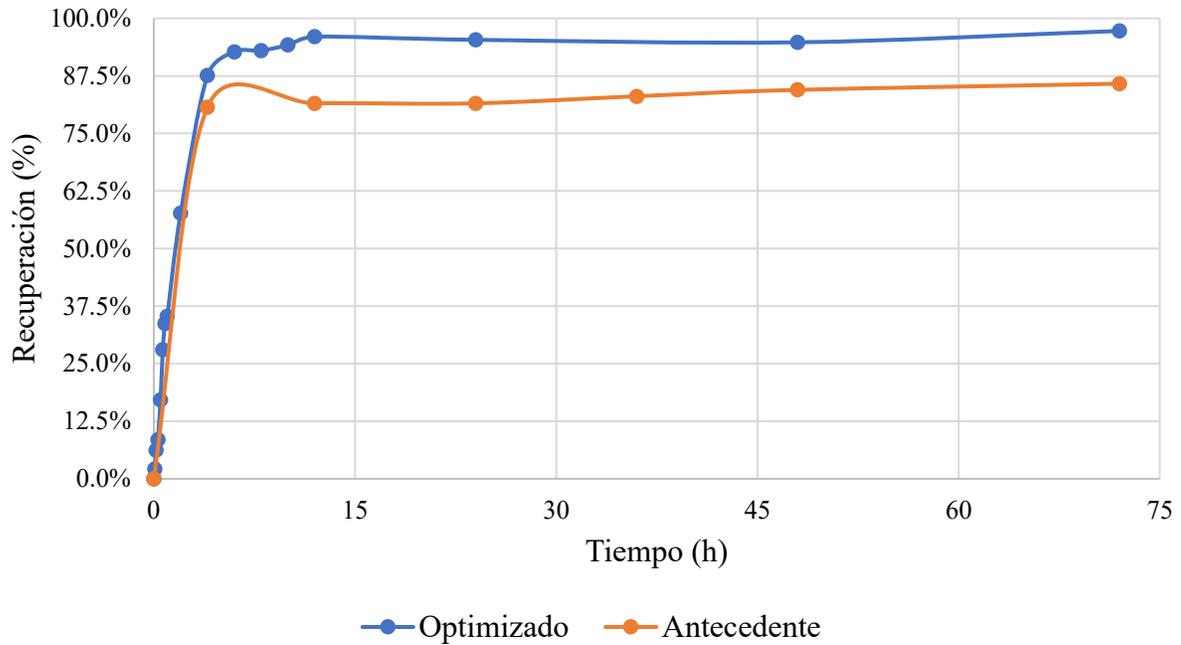


El gráfico 31 obtenido de los datos de la tabla anterior muestra que a partir de la hora 6 se obtienen recuperaciones superiores al 90% y alcanza el estado estacionario a partir de las 12 horas de iniciada la cianuración.

La curva cinética de lixiviación obtenida en esta investigación usando las variables optimizadas fue comparada con la cinética propia de (S. Cruz & Choquecota, 2022) en su investigación usada como antecedente. en su trabajo, los autores lixivian mineral procedente de las mismas zonas con una concentración de cianuro de 400 ppm, y 700 ml de agua (densidad de pulpa de 1303 g/l). Las dos curvas cinéticas fueron comparadas en el gráfico:

**Figura 32**

*Comparación de curvas cinéticas experimentales*



En la figura se observa una mejora significativa en la recuperación de oro. El valor máximo del trabajo anterior es de 85.81% en 72 h y 98.41% cuando el proceso de lixiviación fue optimizado.

#### 4.4.1 Ajuste a modelo de Pseudo primer orden

Para determinar las constantes, pasamos a integrar y recomodar la ecuación de pseudo primer orden, como se muestra a continuación:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

$$q_e - q_t = x$$

$$-dq_t = dx$$

$$dq_t = -dx$$

$$-\int \frac{dx}{x} = k_1 \int dt$$

$$-\ln(q_e - q_t)_0 = k_1 t$$

$$-[\ln(q_e - q_t) - \ln(q_e - 0)] = k_1 t$$

Donde finalmente encontramos una ecuación lineal

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

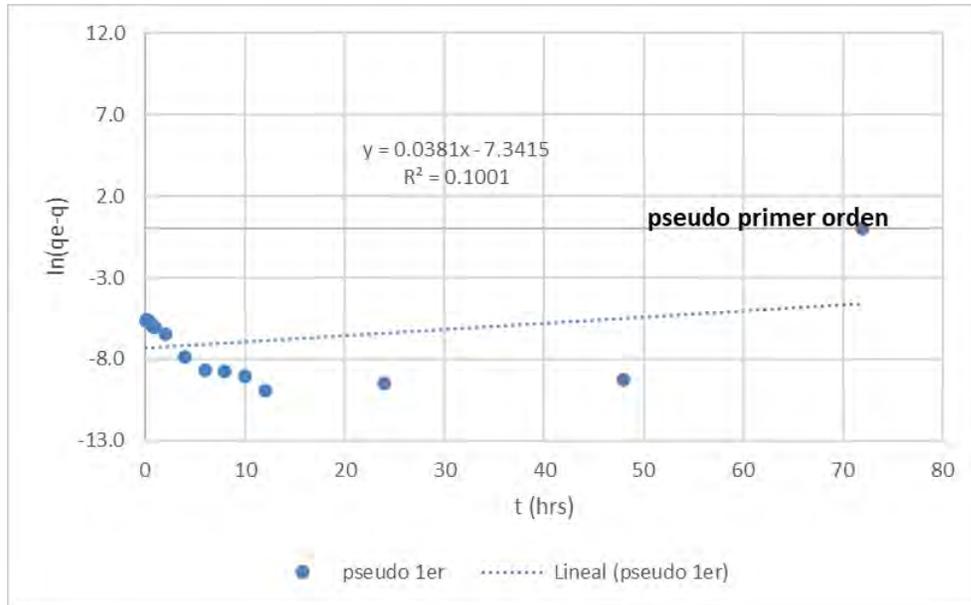
**Tabla 40**

*Datos para la Cinética experimental Pseudo Primer Orden*

N°	Modelo cinético:		pseudo 1er
	t (hra)	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
1	0.083	0.000091	-5.61036
2	0.167	0.000248	-5.65425
3	0.3	0.000334	-5.67903
4	0.5	0.000668	-5.78182
5	0.67	0.001087	-5.92806
6	0.83	0.001305	-6.01353
7	1	0.001366	-6.03880
8	2	0.002229	-6.48768
9	4	0.003378	-7.89466
10	6	0.003577	-8.65631
11	8	0.003587	-8.71786
12	10	0.003634	-9.05434
13	12	0.003703	-9.94323
14	24	0.003677	-9.51110
15	48	0.003656	-9.26369

**Figura 33**

*Curva cinética de recuperación ajustada a un modelo de Pseudo primer orden.*



De la figura 33 podemos observar que al reemplazar la pendiente en la ecuación de pseudo primer orden, obtenemos un  $K_1$  de  $-0.0381 \text{ mg/g}\cdot\text{h}$  este valor no puede ser considerado puesto que la constante de velocidad debe de ser siempre positiva. Y al reemplazar el intercepto obtenemos una capacidad de recuperación es de  $q_e = \exp(-7.3415) = 0 \text{ mg/g}$  que viene a ser un valor incongruente, en comparación con la capacidad de adsorción experimental de equilibrio ( $0.003751 \text{ mg/g}$ ).

#### 4.4.2 Ajuste a modelo de Pseudo segundo orden

Para determinar las constantes, pasamos a integrar y reacomodar la ecuación de pseudo segundo orden:

$$\begin{aligned}\frac{dq_t}{dt} &= k_2(q_e - q_t)^2 \\ q_e - q_t &= x \\ -dq_t &= dx \\ dq_t &= -dx \\ -\int \frac{dx}{x^2} &= k_2 \int dt\end{aligned}$$

$$-\int \frac{x^{-2+1}}{-2+1} dx = k_2 \int dt$$

$$\frac{1}{(q_e - q_t)_0} = k_2 t$$

$$q_t = q_e - \frac{1}{\frac{1}{q_e} + k_2 t}$$

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$$

Obteniendo una ecuación lineal a partir del modelo de pseudo segundo orden:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Donde:

$$v_0 = k_2 q_e^2$$

Vo: velocidad de reacción ( $\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )

Reacomodando:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{q_e} t$$

Aplicando la ecuación a los datos de la tabla () se obtiene:

**Tabla 41**

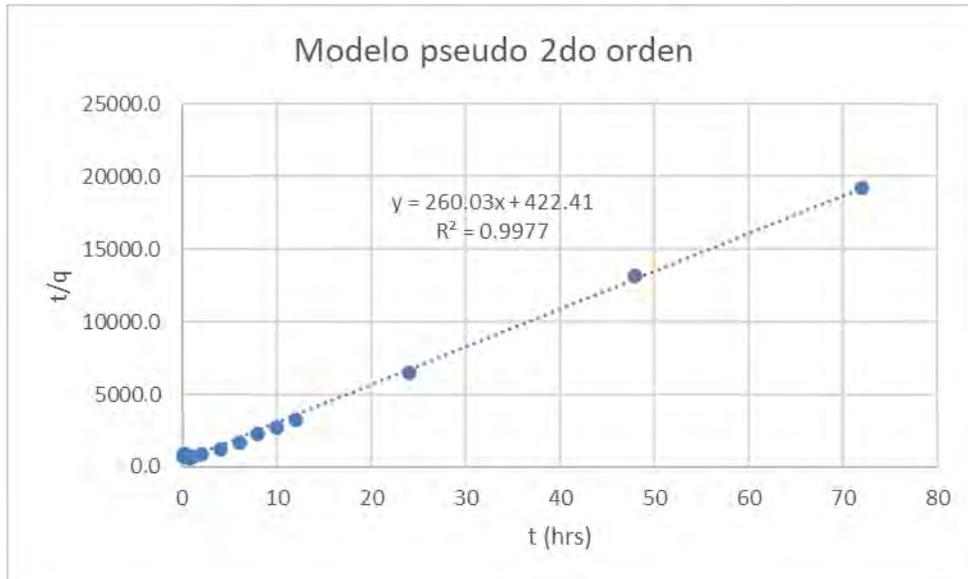
*Datos a partir de la ecuación Pseudo de segundo orden*

Nº	Modelo cinético:		pseudo 2do
	t (hra)	q (mg/g)	t/q
1	0.083	0.000091	910.75
2	0.167	0.000248	672.64
3	0.3	0.000334	898.23
4	0.5	0.000668	748.78
5	0.67	0.001087	616.24
6	0.83	0.001305	635.81
7	1	0.001366	731.82
8	2	0.002229	897.35
9	4	0.003378	1184.08
10	6	0.003577	1677.46
11	8	0.003587	2230.13
12	10	0.003634	2751.80
13	12	0.003703	3240.78
14	24	0.003677	6527.34
15	48	0.003656	13128.87
16	72	0.003751	19195.55

Graficando los datos de la tabla anterior se tiene:

**Figura 34**

*Ajuste ecuación pseudo segundo orden*



Como se ve en el gráfico, coeficiente de determinación  $R^2 =$  de 0.9977 por lo que se concluye que los datos cinéticos obtenidos experimentalmente se ajustan a un modelo de Pseudo segundo orden. Además de la ecuación lineal, se deduce que el valor de  $k = 160.071$   $g/mg \cdot h$ , esta constante de velocidad representa la rapidez con la que ocurre la reacción química por unidad de tiempo y masa de reactantes. Cuanto mayor sea el valor de  $k$ , más rápida será la reacción.

Al comparar las capacidades de adsorción experimental y modelada utilizando la ecuación reacomodada de pseudo segundo orden, obtenemos:

**Tabla 42**

*Capacidades de adsorción para la recuperación experimental y modelada en la ecuación de pseudo segundo orden.*

<b>N°</b>	<b>t (hrs)</b>	<b>Exp. q (mg/g)</b>	<b>Modelado qt (mg/g)</b>	<b>% Error</b>
1	0.083	0.000091	0.000187	105.128
2	0.167	0.000248	0.000358	44.394
3	0.3	0.000334	0.000599	79.496
4	0.5	0.000668	0.000905	35.544
5	0.67	0.001087	0.001123	3.287
6	0.83	0.001305	0.001300	0.380
7	1	0.001366	0.001465	7.236
8	2	0.002229	0.002122	4.788
9	4	0.003378	0.002735	19.039
10	6	0.003577	0.003026	15.391
11	8	0.003587	0.003197	10.889
12	10	0.003634	0.003308	8.963
13	12	0.003703	0.003387	8.524
14	24	0.003677	0.003602	2.038
15	48	0.003656	0.003720	1.744
16	72	0.003751	0.003761	0.266

De esta tabla se visualiza que se tiene un margen de error mínimo cuando se llega al equilibrio en la capacidad de adsorción.

## CONCLUSIÓN

- Se muestreo adecuadamente el mineral aurífero proveniente de las labores mineral del valle de San Juan de Chorunga. Este fue secado por 2.5 h, pulverizado en un tiempo de 7 min/kg logrando una granulometría de malla # 200 con un 77.5 % de pasante.
- Se evaluó el grado de significancia de las variables para el proceso de lixiviación. Concluyendo que la concentración de cianuro es la más relevante, seguida de la densidad de pulpa cuya significancia es media y la velocidad de agitación no es significativa. Disminuir la concentración de cianuro a 100 ppm y la densidad de pulpa a 1200 g/l afecta positivamente la recuperación de oro.
- Se uso inicialmente el diseño Box-Behnken para obtener el modelo matemático, seguido de la optimización mediante gradiente ascendente, esta resultó en una estrategia robusta y efectiva para maximizar la recuperación de oro en el proceso de lixiviación de mineral aurífero proveniente del valle de San Juan de Chorunga. Las variables optimizadas son; concentración de cianuro de sodio de 100.00 ppm, densidad de pulpa de 1200.98 g/l y velocidad de agitación de 16.02 rpm para recuperar el 99.03% de oro presente en el mineral estudiado. Mediante la optimización del proceso de lixiviación, se logró mejorar considerablemente la recuperación de oro desde 85% a 99.03%.
- Se determino experimentalmente la curva cinética haciendo uso de las variables optimizadas con las cuales se alcanzó el equilibrio a las 12 h con recuperaciones mayores al 98%. La curva se ajusta a un modelo matemático de Pseudo segundo orden con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.98 y una constante de velocidad  $k = 160.071 \text{ g/mg}\cdot\text{h}$ .

## RECOMENDACIONES

- Repetir los ensayos con los valores de las variables estimadas por máximo ascenso para lograr la recuperación de 99.98% usando una concentración de cianuro de sodio de 30 ppm y una densidad de pulpa de 1200g/l.
- Estudiar como influirían los parámetros optimizados en el proceso de adsorción con carbón activado ya que la mayoría de plantas de beneficio que recuperan oro por el proceso de lixiviación en tanques agitados aplican los procesos de lixiviación/adsorción.
- Estudiar el efecto de las variables estudiadas en minerales auríferos refractarios, cianicidas y relaves acidificados.

## BIBLIOGRAFÍA

- 911Metallurgist. (2023). *Lixiviación de oro y plata*.
- Acosta, A., Pérez, O., Albernas, Y., & Cortés, M. (2021). Potencialidades de la metodología de superficie respuesta en la optimización experimental en la industria química y alimentaria. *Scielo*.
- Acosta Fiallos, F., & Feijoo Loayza, C. (2020). Recuperación De Oro Mediante Concentración Gravimétrica Utilizando Concentradores Tipo Z En El Distrito Minero Zamora-Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 42–49.  
<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2283>
- Ángel, J., Sedano, M., & Vila, A. (2006). La distribución Normal. *Universidad de Catalunya*, 1–19. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43169354/Distrib\\_Normal-libre.pdf?1456688138=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDistrib\\_Normal.pdf&Expires=1702965120&Signature=P0gPj52YQsrGooIG1NcNqR0c9GvIQSGTrLKdHQl6IW9upzRe8qzOOJPx8EidosSKoPd3Drvcf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43169354/Distrib_Normal-libre.pdf?1456688138=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDistrib_Normal.pdf&Expires=1702965120&Signature=P0gPj52YQsrGooIG1NcNqR0c9GvIQSGTrLKdHQl6IW9upzRe8qzOOJPx8EidosSKoPd3Drvcf)
- Apfata, W. (2017). *Optimización de la recuperación de Au en la Planta de Beneficio de la Compañía Refinadora Del Pacífico S.A.C.* Universidad Nacional de San Agustín.
- Aquino, P. (2019). *Influencia de microburbujas de oxígeno en el proceso de cianuración en columnas para mejorar la recuperación de oro y plata en minera la zanja – Compañía de Minas Buenaventura.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Arévalo, L., & Urcuhuaranga, F. (2022). *Optimización de la Densidad de Pulpa de Relave Mediante la Aplicación de la Técnica Box Benhken en la Planta de Filtrado en una Mina en*

*la Libertad*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Ascuña, V., Zela, J., Bolaños, H., Mamani, P., Huamani, R., & Huanca, P. (2018). Tratamiento de Soluciones de Cianuro y Precipitación de Metales Cianicidas por Reacción con Péroxido de Hidrógeno y Soda Caustica, El Método Perso; Obtencion de Lodos Economicamente Utiles. *Revista Boliviana de Química*, 35.

ASTM Internacional. (2020). *Especificación estándar para tela de tamiz de prueba de alambre tejido y tamices de prueba E11 - 20*.

Attala, L. I. (2012). *Docimasia: Capacitación Personal de Laboratorio de OROPLATA S.A.* 1–23.

Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación* (3ra ed.). Pearson.

Blanco, E. (2018). Tecnología Mineralúrgica Bloque I - Pulpas. *Universidad de Cantabria*, 1–18.

Cárdenas, J. A. (2017). *Guía para el manejo responsable y alternativas de eliminación del mercurio en ambientes de trabajo del sector minero*. 28.

Carlos, J., & Cerron, P. (2016). *Comparación de pruebas de normalidad multivariada*. 77(2), 141–146.

Chávez, J. (2018). *Extraccion de Oro a nivel experimental mediante la cinetica de la Cianuracion*. Repositorio de La Universidad Peruana Unión.

Ciurlizza, S. (2009). *DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA BEBIDA PROTEICA BAJA EN CALORÍAS A BASE DE SOYA (Glycine max L), CACAO (Theobroma cacao L) E INULINA*. Universidad Agraria la Molina.

Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). *Revista colombiana de estadística*. Junio, 57–76.

Cruz, J., & Goicochea, J. (2019). *Valorización Economica del Mineral de Baja Ley Au, Ag de la*

*Minería Artesanal en la Hacienda Goicochea Caserío Tumbacucho, Hualhuayoc.*

Universidad Nacional del Norte.

Cruz, S. (2022). *Caracterización metalúrgica del mineral PB.*

Cruz, S., & Choquecota, W. (2022). *Pruebas de cianuración de mineral PB.*

D. C. Montgomery. (2017). *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons. In  
*Mycological Research* (Vol. 106, Issue 11).

Da Cunha, T. ., Muñoz, J. ., & Hinojosa, M. . (2015). *Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles* Autores : *Thiago Augusto da Cunha* ,  
*Cochabamba - Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles* Autores : *Thiago Augusto da Cunha a Ju. June*, 11.

Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(4), 306–310.

<https://doi.org/10.2307/j.ctvvn8k0.7>

Delzo, A., Huari, O., & Salazar, J. (2021). Box - Behnken Design To Optimize the Performance of a Peak Photovoltaic Solar System. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 31, 97–101.

Díaz, A. (2009). *Diseño Estadístico de Experimentos*. Editorial Universidad de Antioquia.

Dutta, S. (2016). *Optimization in Chemical Engineering* (First Edit). Cambridge University Press.

Elizondo Mireles, J. R. (2009). *Absorción en Multietapas de metales pesados de efluentes acuosos por Carbon Activado*. <http://eprints.uanl.mx/21267/1/1020164443.pdf>

Escobar, L. (1994). *Estudio Geológico del Yacimiento Filoniano de Oro “San Juan de Chorunga” - (Arequipa)*. Universidad Nacional de Ingeniería.

- Escobedo, M. (2010). *Nuevo Metodo de Sintesis, estudio cinetico y modelacion de Adsorcion de Co2 por el Li4SO4 para proceso de produccion de H2*.
- Figuerola, A. (2003). Optimización de una superficie respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 17–23.
- Free, M. L. (2022). *Hydrometallurgy, Fundamentals and Applications*. Springer.
- Galgano, A. (1995). *Los 7 Instrumentos de la Calidad Total*. Díaz de Santos.
- Galoso, A., Loaiza Choque, E., & Zárata Olazabal, H. (2008). Mineralización y explotación minera artesanal en la Costa Sur Media del Perú - [Boletín E 4]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*.
- Garcia, J. (2023). *Introducción a las Pruebas Metalúrgicas*.
- Gaviria, A., Restrepo, O., & Bustamante, O. (2007). Hidrometalurgia Aplicada: Linea de metales preciosos. *Universidad Nacional de Colombia*, 50.
- GIDOLQUIM. (2023). *Técnicas de operaciones avanzadas en el laboratorio químico(TALQ)*. Universidad de Barcelona.
- Glave, M. (2007). La Minería Peruana: Lo Que Sabemos Y Lo Que Aún Nos Falta Por Saber. *Lima: GRADE Group for the Analysis of Development*, 135–181.
- Gomez, J., & Morales, M. (2012). Evaluacion del proceso de lixiviación por agitación de minerales de Au-Ag en la Compañia minera Ares Castilla-Arequipa. In *Pagina repositorio UNSAAC*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Gómez, R. (2019). *Método de Cianuración para la Recuperación de Plata en el Mineral "Caimán-Oxidos" del Grupo Gorminmets R.L. de C.V.* Instituto Politécnico Nacional.
- Google. (2023). *Valle de San Juan de Chorunga*.

- Gupta, C. K., & Mukherjee, T. K. (1990a). Hydrometallurgy in extraction processes. In C. PRESS (Ed.), *Hydrometallurgy in Extraction Processes* (Vol. 2). CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/9780203751404>
- Gupta, C. K., & Mukherjee, T. K. (1990b). *Hydrometallurgy in extraction processes* (Vol. 1). CRC Press.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2da ed.). McGRAW-HILL.
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos* (3ra Edició). McGRAW-HILL.
- HASTI, T., TIBSHIRANI, R., & FRIEDMAN, J. (2009). The Elements of Statistical Learning Data Mining, Inference and Prediction. *Springer*, 2(3), 43–45.  
<http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>  
<http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055>  
<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006>  
<https://doi.org/10.1>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). McGRAW-HILL.
- Herrera, H. (2019). *Estudio Cinético de la Lixiviación del Cobre a partir de la Malaquita mediante Soluciones Diluidas de Ácido Cítrico*. 0(0), 1–116.
- Higareda, D. (n.d.). *Aproximación al Óptimo con Diseños de Segundo Orden*.
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). *Biochemistry Process*. Pseudo - Second Model Adsorción.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032959298001538>
- Hoyos, L. M., Espinel, E., & Quintero, Y. (2015). Caracterización fisicoquímica de cuarzo en el

- municipio de La Playa de Belén, departamento de Norte de Santander. *Revista Tecnura*, 19(45), 41. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a03>
- Huaco, M. (2017). *Evaluación del porcentaje de disolución de oro en la lixiviación con Sandioss mediante diseños experimentales*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Humberto, G., & López, G. (2016). *Tratamiento de aguas residuales del proceso de lixiviación de oro con cianuro a través de oxidación electroquímica*. 144.
- INSST. (2018). *Cianuro de Sodio*.
- Izquierdo, J., Cunill, F., Tejero, J., Iborra, M., & Fité, C. (2004). *Cinética de las Reacciones Química* (1ra ed.). Universitat Barcelona.
- Jany, E. (1994). *Investigación Integral de Mercados*. McGRAW-HILL.
- Jaramillo, A. C., María, A., & Hormaza, A. (2013). *Diseño Box-Behnken para la optimización de la adsorción del colorante azul ácido sobre residuos de flores* (Vol. 9, Issue 18).
- Jordán, J., & Merma, G. (2019). *Análisis Estructural y Paraagenético de las Vetas Auríferas Sangre de Toro, Santa Rosay El Viento, De la minera Chalhuane, Distrito de San Juan de Chorunga, Camana - Arequipa*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Khosravi, R., Azizi, A., Ghaedrahmati, R., Gupta, V. K., & Agarwal, S. (2017). Adsorption of gold from cyanide leaching solution onto activated carbon originating from coconut shell— Optimization, kinetics and equilibrium studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 54, 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.06.036>
- Kolvi, O. (2021). *Formulación De Un Proceso De Flotación De Minerales Mina Servilleta – Las Lomas Piura En Laboratorio De Química De La Universidad Nacional De Piura*. 1–110.
- Lagergren, S. (1898). About the theory of so-called adsorption of soluble substances, *kungliga*.

- Handinglar*, 24(1), 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.06.019>
- Lenntech. (2010). *Propiedades Químicas del Oro*.  
<https://www.lenntech.com/periodic/elements/au.htm>
- Lepkowski, J., Trucker, C., Brick, M., De Leeuw, E., Japac, L., Lavrakas, P., Link, M., & Sangster, R. (2008). *Advances in Telephone Survey Methodology*. Wiley.
- Marin Barrera, E. J. (2022). *Estudio de Factibilidad para la Recuperacion de Oro por Lixiviacion en Pilas - Cianuracion Llevado en Planta de Beneficio de la Empresa Oroconcet S.A, Ubicada en el Sector de Tablon del Canton Portovelo en la provincia de oro*.
- Marsden, J., & House Lain, C. (2006). *The Chemistry of Gold Extraccion*.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OuoV-o\\_Xf-EC&oi=fnd&pg=IA1&dq=The+Chemistry+of+Gold+Extraction+marsden&ots=Av-xTIDnw9&sig=2EVTxJq9gtkGDnE0G-HNlcZkW14#v=onepage&q=The Chemistry of Gold Extraction marsden&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OuoV-o_Xf-EC&oi=fnd&pg=IA1&dq=The+Chemistry+of+Gold+Extraction+marsden&ots=Av-xTIDnw9&sig=2EVTxJq9gtkGDnE0G-HNlcZkW14#v=onepage&q=The+Chemistry+of+Gold+Extraction+marsden&f=false)
- Marshden, J., & House, I. (2009). *Chemistry of Gold Extraction* (2nd ed.). Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Mendez, I. (2007). *Metodología de Superficie de Respuesta*. Universidad Autónoma de México.
- Mendo, D. (2017). *Efecto de la concentracion de cianuro y granulometria en un mineral oxidado, en la recuperacion de oro mediante lixiviación por agitación*. Universidad Privada del Norte.
- Método de la Superficie Respuesta*. (n.d.).
- MIEM. (2021). *20 21 ANUARIO MINERO REPORTE ESTADISTICO*. 62.

- MINEM. (2021). *2021 Anuario Minero Reporte Estadístico*. 62.
- Minitab. (2023). *Diseño de Superficie de Respuesta, los Diseños Centrales Compuestos y los Diseños Box-Behnken*.
- Montalvo, R. (2021). *Minimizar el Porcentaje de Humedad del Relave Filtrado con Filtro Prensa Optimizando la Densidad y Porcentaje de Finos de la Pulpa de Relave*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos*. Wiley.
- Montgomery, D. C. (2008). *Desing and Analysis of Experiments. 7th Editio*.  
[https://www.google.com.pe/books/edition/Design\\_and\\_Analysis\\_of\\_Experiments/kMMJAm5bD34C?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Design_and_Analysis_of_Experiments/kMMJAm5bD34C?hl=es&gbpv=1)
- Myers, R., Montgomery, D., & Anderson, C. (1995). *Response-Surface-Methology-Process-and-Product-Optimization-Using-Designed-Experiments-3rd-Edition* (Wiley).
- Nóchez, J., & Ventura, A. (2009). *No Title Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), conceptos y aplicación para obtener el valor óptimo en un experimento*. Universidad del Salvador.
- Ondarse Alvarez, D. (2018). *Oro*. 10-08 ENCICLOPEDIA Y HUMANIDADES.
- Ortiz, A. A., Jara, P. N., Guillén, V. V., Ríos, M. C., & Merizalde, J. V. (n.d.). *Cómo Mejorar La Extracción De Oro En Lixiviación En Montón*. *Dialnet*, 3, 15–24.
- Osinergmin. (2017). *La Industria de la Minería en el Perú: 20 años de contribucion al crecimiento y desarrollo economico del pais*. In J. Tamayo, J. Jácome, A. Vásquez, & V. Zurita (Eds.), *La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento*

- y desarrollo económico del país* (Issue La industria de la Minería en el Perú).
- Oxywise. (2023). *Oxygen Plays a Significant Role in Gold Leaching*.
- Paredes, R. (2022). *Hidrometalurgia de Oro y Plata: Cianuración*.
- Ponce, J. (2022). *Evaluación de la recuperación de oro y plata en minera Tunkyro S.A.C.* (Issue 8.5.2017). Universidad Nacional de San Agustín.
- Portal;Minero (Ed.). (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*.
- Química Industrial. (2023). *Cianuro de Sodio*.
- Rao, S. (2018). *Engineering Optimization: Theory and Practice* (Fourth Ed.). Jhon Wiley & Son, INC. <https://doi.org/10.4324/9781315156101-4>
- Rios Paredes, E. (2012). Recuperación de Oro de Chatarra mediante Proceso de Extracción utilizando 2 Etil-Hexanol y DibutilCarbitol. *Instituto Politécnico Nacional*, 1–130.
- Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2015). *Experimental Design and Process Optimization*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17848>
- Romero, A. A., & Flores, S. L. (2010). *The influence of the velocity of agitation in the dynamic leaching of altered minerals*. *12*(2009), 133–140.
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Metodología de La Investigación*, *3*, 105–114.
- Ruíz, A., Guerra, C., & Morrejón, Y. (2017). No Title Metodología de Superficie de Respuesta como alternativa en la búsqueda de condiciones óptimas. *Anuario Ciencia de La UNAH*, *15*, 1–31.
- Ruiz, J., López, C., Carmona, M., & Bolívar, W. (2019). *Modelamiento estadístico y optimización del proceso de cianuración de un mineral aurífero*.

- Salazar, J. (2023). *Metodo para la determinación de oro por Ensayos al Fuego*.
- Sánchez, D. (2011). *Diseño óptimo de laminados en materiales compuestos. Aplicación del MEF y el Método de las Superficies de Respuesta.e*. Universidad de Sevilla.
- Scheffe, H. (1999). *The Analysis of Variance*. Wiley.
- SGS. (2023). *Prueba de Rodillos de Botella de Cianuro*.
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2005). *Fundamentos de Química Analítica* (8va ed.). Thomson.
- Soiltest. (2016). Tamices de prueba estándar USA ASTM E-11. *SoilTest, 1*, 118–119.
- Statgraphics. (2023). *Design of Experiments*.
- T&V Seguridad. (2023). *T&V Seguridad*. <https://tyvseguridad.pe/productos/>
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones* (9na Edició). Pearson.
- Uceda, D. (2016). *Hidrometalurgia Química e Ingeniería*.
- Uribe, V. C. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Universidad del Bio-Bio.
- Valdivia, P. (2017). *Explotación del oro y caracterización microscopica del mineral para su recuperacion óptima sustentable en la pequeña minería y artesanal del sur del Perú*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Vidarte, J. L. (2016). Manejo responsable del cianuro. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 93.
- Villanueva, A. (2008). *Indicadores de Gestión del consorcio Minero Horizonte S.A.*
- Voeste, T., Weber, K., Hiskey, B., & Brunner, G. (2006). Liquid - Solid Extraction. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley.
- Wankat, P. (2012). *Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis* (3rd

*Edition*). Pearson.

Weinberg, J. (2007). Introducción a La Contaminación de Mercurio para Las Ong. *Annual Review of Plant Biology*, 42, 35.

Wills, B. A., & Napier-munn, T. (2006). *Mineral Processing Technology*. Elsevier Science & Technology Books.

Yañez, J., Garcia, I., Pedraza, J., & Laverde, D. (2005). Caracterización de los minerales Auríferos de la Zona Minera de San Pedro Frío (Bolívar-Colombia), para la selección de los Procesos de Extracción. *Minerals*, 1(12), 13. <https://doi.org/10.3390/min11121343>

Zamalloa, J. (2017). *Influencia de la Concentracion de Hidroxido de Sodio y Tiempo de Lixiviación Sobre el Porcentaje Eliminación de Arsenico Presente en Minerales Auríferos Refractarios Usando Lixiviación Alcalina*. Universidad Nacional de Trujillo.

ANEXOS

Figura 35

Efecto de la concentración de oxígeno en cianuración de oro con KCN al 0.25%

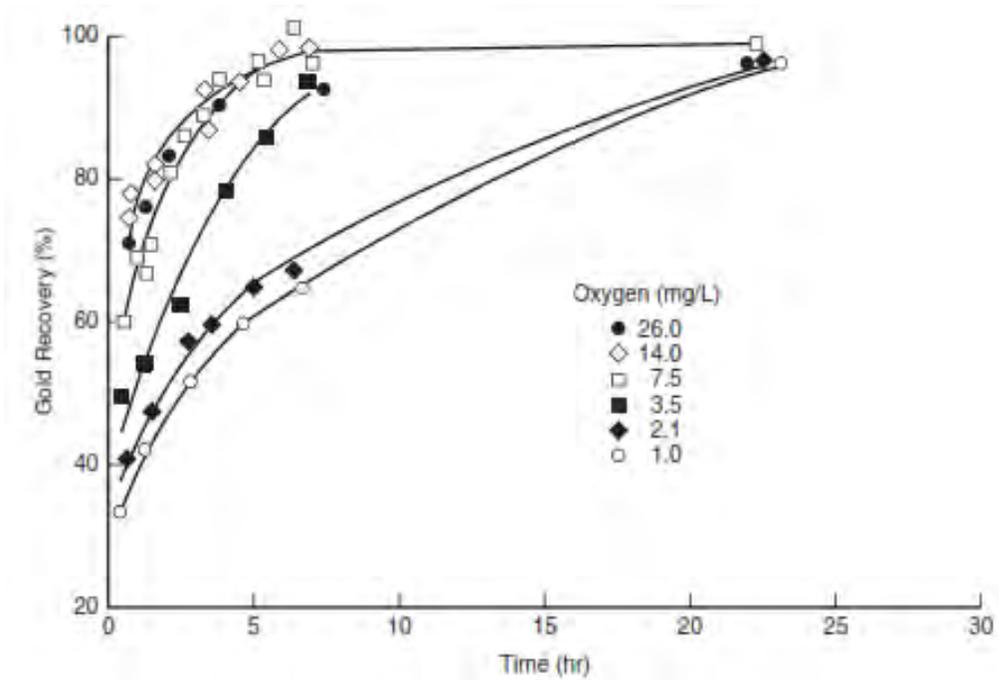


Tabla 43

Densidad del Cuarzo Blanco

Muestra	m(g)	V(cm3)	D(g/cm3)
M1	63	23.8	2.65
M2	63	23.8	2.65
M3	63	23.9	2.64
M4	63	23.7	2.66
M5	63	23.8	2.65
M6	63	23.8	2.65
M7	63	23.8	2.65
M8	63	23.9	2.64
M9	63	23.9	2.64
M10	63	23.9	2.64
M11	63	23.9	2.64

**Tabla 44***Disolución de oxígeno a distintas presiones*

<b>Temperatura</b> °C	<b>Nivel del mar</b> <b>(760mmHg)</b>	<b>914 m.s.n.m</b> <b>(680mmHg)</b>	<b>1828 m.s.n.m</b> <b>(610mmHg)</b>
0	14.6	13.1	11.7
5	12.8	11.4	10.3
10	11.3	10.1	9.1
15	10.1	9	8.1
20	9.1	8.2	7.3
25	8.3	7.3	6.6
30	7.5	6.7	6.1
35	7	6.2	5.6
40	6.5	5.7	5.2
45	6	5.3	4.8
50	5.6	4.9	4.5
60	4.8	4.2	3.8
70	3.9	3.4	3
80	2.9	2.4	2
90	1.7	1.1	0.7
100	0	0	0

## Anexo 1: Muestreo y acondicionamiento de mineral.

**Tabla 45**

*Serie de Tamices Estándar USA - ASTM E - 11*

Numero de Tamiz	Abertura del Tamiz		203mm. (8pulg)	305mm. (12pulg)
	Estándar	Alternativo	Diámetro	Diámetro
N°04	4.75mm	0.187	EI79-5020	EI79-5820
N°08	2.36mm	0.0937	EI79-5060	EI79-5860
N°12	1.70mm	0.0661	EI79-5080	EI79-5880
N°16	1.18mm	0.0469	EI79-5100	EI79-5900
N°20	850µm	0.0331	EI79-5120	EI79-5920
N°30	600µm	0.0234	EI79-5140	EI79-5940
N°40	425µm	0.0165	EI79-5160	EI79-5960
N°50	300µm	0.0117	EI79-5180	EI79-5980
N°60	250µm	0.0098	EI79-5190	EI79-5990
N°70	212µm	0.0083	EI79-5200	EI79-6000
N°100	150µm	0.0059	EI79-5220	EI79-6020
N°140	106µm	0.0041	EI79-5240	EI79-6040
N°200	75µm	0.0029	EI79-5260	EI79-6060
N°400	38µm	0.0015	EI79-5300	EI79-6100

**Tabla 46***Antecedentes de sacado del mineral estudiado*

FECHA	HORA	PROCEDENCIA	Tipo	Descripción	Peso Tara	Peso Total	Peso Seco	%Humedad	Peso Muestra
24/08/2022	05:20	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_088	941.20	5662.50	5588.90	1.56	4721.30
27/08/2022	06:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_093	925.50	5672.80	5605.60	1.42	4747.30
2/09/2022	06:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_105	953.90	5864.50	5779.60	1.73	4910.60
18/09/2022	05:40	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_132	946.60	6258.50	6198.90	1.12	5311.90
6/10/2022	05:45	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_165	937.40	5744.20	5680.00	1.34	4806.80
7/10/2022	06:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_167	960.70	6733.30	6645.70	1.52	5772.60
8/10/2022	06:15	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_169	874.50	6500.10	6428.80	1.27	5625.60
23/10/2022	08:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_195	959.20	5989.60	5936.70	1.05	5030.40
24/10/2022	05:50	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_197	960.70	5379.20	5316.30	1.42	4418.50
25/10/2022	05:30	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_199	899.10	5321.20	5257.00	1.45	4422.10
9/11/2022	18:05	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_223	895.50	5768.20	5665.50	2.11	4872.70
10/11/2022	18:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_225	959.30	5924.10	5840.80	1.68	4964.80
14/11/2022	05:21	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_232	895.60	5124.90	5068.60	1.33	4229.30
16/11/2022	05:42	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_236	954.20	4776.80	4731.60	1.18	3822.60
27/11/2022	06:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_257	941.00	5657.90	5594.50	1.34	4716.90
28/11/2022	05:50	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_259	970.10	5095.00	5045.80	1.19	4124.90
29/11/2022	06:15	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_260	954.30	6109.90	6047.60	1.21	5155.60
30/11/2022	17:40	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_263	959.10	4986.00	4934.40	1.28	4026.90
1/12/2022	17:32	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_265	876.50	6169.60	6137.60	0.60	5293.10
3/12/2022	05:50	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_266	961.10	5536.70	5470.80	1.44	4575.60
4/12/2022	17:30	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_267	953.90	6559.50	6518.80	0.73	5605.60
6/12/2022	05:58	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_269	964.00	5442.00	5387.30	1.22	4478.00
7/12/2022	17:32	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_271	963.70	5711.30	5662.90	1.02	4747.60
8/12/2022	18:05	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_273	946.40	5175.50	5095.60	1.89	4229.10
9/12/2022	06:05	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_274	954.40	6179.20	6105.10	1.42	5224.80
10/12/2022	17:31	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_277	969.70	4283.00	4220.90	1.87	3313.30
12/12/2022	05:55	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_279	949.80	5486.10	5427.00	1.30	4536.30
13/01/2023	18:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_28	951.10	5655.20	5607.50	1.01	4704.10
14/02/2023	05:55	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_51	965.60	5458.80	5406.20	1.17	4493.20
16/02/2023	18:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_54	949.80	5787.20	5737.20	1.03	4837.40
17/03/2023	18:00	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_76	879.10	6720.70	6696.40	0.42	5841.60
18/03/2023	05:40	PLANTA	ROCA	MUESTREADOR_78	960.30	5227.50	5171.00	1.32	4267.20

**Tabla 47***Resultado de Pruebas de Secado de Mineral*

CURVAS DE SECADO+O1:AB25 PARA MINERAL - T horno: 105°C					
PESO TARA		386.9	404.1	390.1	391.2
TIEMPO		M1	M2	M3	M4
11:30	0	1797.6	1726.4	1789.2	1913.8
11:35	0.083	1795.9	1725.0	1787.7	1912.1
11:40	0.167	1794.6	1723.2	1786.2	1910.6
11:45	0.25	1793.1	1721.8	1784.8	1908.9
11:50	0.333	1791.6	1719.9	1782.9	1907.1
11:55	0.416	1790.0	1718.4	1781.1	1905.0
12:00	0.499	1788.5	1717.1	1779.9	1903.9
12:10	0.666	1785.8	1713.8	1776.8	1900.8
12:20	0.833	1783.2	1711.8	1774.5	1898.1
12:30	1	1780.8	1709.9	1772.5	1896.0
12:40	1.167	1779.2	1708.5	1770.8	1894.3
13:00	1.5	1777.0	1707.0	1769.0	1891.9
13:20	1.833	1776.2	1706.6	1768.3	1890.8
13:40	2.166	1775.7	1706.3	1768.0	1890.0
14:00	2.499	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
14:20	2.832	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
14:40	3.165	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
15:00	3.498	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
15:20	3.831	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
15:40	4.164	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
16:00	4.497	1775.5	1706.1	1767.7	1890.0
%HUMEDAD		1.2294%	1.1759%	1.2017%	1.2436%

**Tabla 48***Porcentaje de humedad de muestras minerales.*

<b>N°Prueba</b>	<b>Tiempo</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
1	0	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%
2	0.083	99.9054%	99.9189%	99.9162%	99.9112%
3	0.167	99.8331%	99.8146%	99.8323%	99.8328%
4	0.25	99.7497%	99.7335%	99.7541%	99.7440%
5	0.333	99.6662%	99.6235%	99.6479%	99.6499%
6	0.416	99.5772%	99.5366%	99.5473%	99.5402%
7	0.499	99.4938%	99.4613%	99.4802%	99.4827%
8	0.666	99.3436%	99.2702%	99.3070%	99.3207%
9	0.833	99.1989%	99.1543%	99.1784%	99.1796%
10	1	99.0654%	99.0443%	99.0666%	99.0699%
11	1.167	98.9764%	98.9632%	98.9716%	98.9811%
12	1.5	98.8540%	98.8763%	98.8710%	98.8557%
13	1.833	98.8095%	98.8531%	98.8319%	98.7982%
14	2.166	98.7817%	98.8357%	98.8151%	98.7564%
15	2.499	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
16	2.832	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
17	3.165	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
18	3.498	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
19	3.831	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
20	4.164	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
21	4.497	98.7706%	98.8241%	98.7983%	98.7564%
<i>Porcentaje de Humedad</i>		<i>1.2294%</i>	<i>1.1759%</i>	<i>1.2017%</i>	<i>1.2436%</i>

**Tabla 49***Pruebas de pulverización de equipos pulverizadores*

<b>Pruebas de Eficiencia de Pulverización de Ollas</b>					
Set Point de Chancado #-10: 71%					
Tiempo de pulverización (min)					
Olla N°4 (peso:19.85kg)			Olla N°2 (peso:14.16)		
Muestra: Roca-54431(30/12/22)					
Peso(g)	1157.1	100.0%	Peso(g)	1179.5	100.0%
#+10	0	0.0%	#+10	178.3	15.1%
#-10	135.9	11.7%	#-10	727.4	61.7%
#-70	259.6	22.4%	#-70	101.3	8.6%
#-100	759	65.6%	#-100	172.5	14.6%
Muestra: Cuarzo Blanco 1/4"					
Peso(g)	490.2	100.0%	Peso(g)	485.9	100.0%
#+70	1.5	0.3%	#+70	12.6	2.6%
#-70	45.3	9.2%	#-70	80.1	16.5%
#-100	115.5	23.6%	#-100	271	55.8%
#-140	323.5	66.0%	#-140	120	24.7%

**Tabla 50***Prueba de tamices de chancado terciario*

<b>Prueba de tamices después del chancado</b>		
Set Point de Chancado #-10: 90%		
Muestra: Muestreador Mineral 273		
Peso	955.8	100.0%
#+10	111.4	11.7%
#-10	564.5	59.1%
#-70	95.1	9.9%
#-100	179.5	18.8%
Perdidas	5.3	0.6%
Muestra: Roca-07683(15/12/22)		
Peso	1049.4	100.0%
#+10	99.6	9.5%
#-10	533.8	50.9%
#-70	64.2	6.1%
#-100	348.7	33.2%
Perdidas	3.1	0.3%

**Tabla 51***Prueba de tamices a distintos tiempos de pulverización*

<b>Resultado de pruebas de tamices - (Set Point Chancado #-10: 85%)</b>							
Tiempo (min)	#+10	#-10	#-70	#-100	#-140	#-200	Peso(g)
0	269.1	465.9	43.0	55.0	47.9	103.6	984.6
1	0	231.5	143.7	209.3	206.5	189.6	980.6
2	0	51.5	117	298.8	249	260.9	977.2
3	0	0	82.2	172.9	309.8	408.2	973.1
5	0	0	21.3	63.3	357.6	528.2	970.4
8	0	0	0	25.2122	62.0608	882.427	969.7

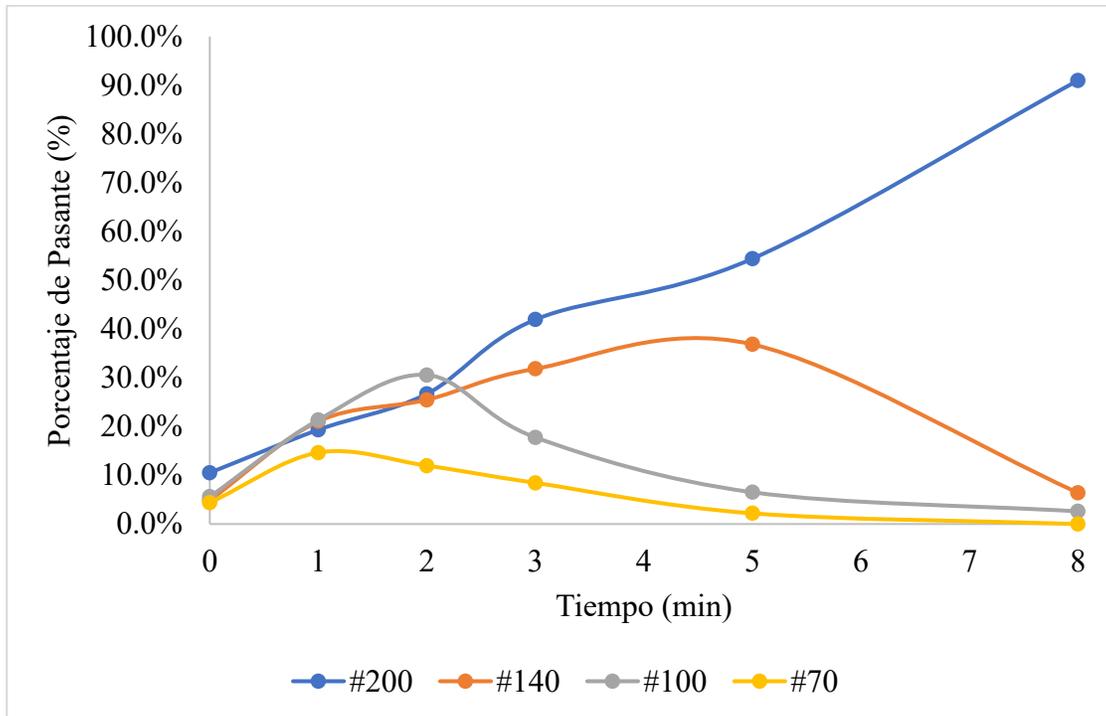
**Tabla 52**

*Porcentaje de mineral pasante en prueba de tamices en distintos tiempos*

<b>Porcentajes de Mineral pasante según el tiempo de pulverización de rocas</b>						
Tiempo (min)	#+10(%)	#-10(%)	#-70(%)	#-100(%)	#-140(%)	#-200(%)
0	27.3%	47.3%	4.4%	5.6%	4.9%	10.5%
1	0.0%	23.6%	14.7%	21.3%	21.1%	19.3%
2	0.0%	5.3%	12.0%	30.6%	25.5%	26.7%
3	0.0%	0.0%	8.4%	17.8%	31.8%	41.9%
5	0.0%	0.0%	2.2%	6.5%	36.9%	54.4%
8	0.0%	0.0%	0.0%	2.6%	6.4%	91.0%

**Figura 36**

*Curvas granulométricas*



**Tabla 53***Calculo para determinar el volumen de agua en pulpa.*

<b>Mineral(g)</b>	<b>400</b>	<b>Mineral(L)</b>	<b>0.1443</b>
<b>Volumen de agua (L)</b>	<b>Peso de agua (g)</b>	<b>Densidad de pulpa(g/L)</b>	<b>Volumen de pulpa (L)</b>
1.135	1135	1200	1.28
1	1000	1223	1.14
0.9	900	1245	1.04
0.8	800	1271	0.94
0.72	720	1296	0.86
0.7	700	1303	0.84
0.6	600	1344	0.74
0.587	587	1350	0.73
0.5	500	1397	0.64
0.4	400	1470	0.54
0.367	367	1500	0.51
0.3	300	1576	0.44
0.2	200	1743	0.34
0.1	100	2047	0.24
0	0	2772	0.14
0.3723	374.3	1499	0.52
0.5995	596.5	1340	0.75
1.1472	1147.2	1198	1.29

**Tabla 54***Volúmenes de reposición de solución de cianuro de sodio al 30%.*

Concentración de NaCN en pulpa	Volumen de solución de NaCN al 30% necesario		
	1500 g/l	1350 g/l	1200 g/l
0.01	0.13	0.20	0.39
0.02	0.25	0.41	0.78
0.03	0.38	0.61	1.17
0.04	0.51	0.81	1.56
0.05	0.64	1.01	1.95
0.06	0.76	1.22	2.34
0.07	0.89	1.42	2.73
0.08	1.02	1.62	3.12
0.09	1.15	1.83	3.51
0.1	1.27	2.03	3.90
0.11	1.40	2.23	4.29
0.12	1.53	2.43	4.68
0.13	1.66	2.64	5.07
0.14	1.78	2.84	5.46
0.15	1.91	3.04	5.85
0.2	2.55	4.06	7.80
0.25	3.18	5.07	9.76
0.3	3.82	6.09	11.71
0.35	4.46	7.10	13.66
0.4	5.09	8.12	15.61

## Anexo 2: Recuperación de oro

**Tabla 55**

*Resultados de Leyes de Solución y Cola de la primera corrida experimental*

<b>N°</b>	<b>Concentración Cianuro</b>	<b>Densidad de Pulpa</b>	<b>RPM</b>	<b>Ley de Cola (g/TM)</b>	<b>Ley de Solución (g/m3)</b>
P_1	100ppm	1350	50	0.93	16.61
P_2	400ppm	1350	50	5.37	15.86
P_3	400ppm	1500	33	6.89	20.92
P_4	250ppm	1200	50	5.03	6.08
P_5	250ppm	1200	16	2.57	9.97
P_6	250ppm	1350	33	3.76	12.23
P_7	250ppm	1500	16	4.69	17.67
P_8	100ppm	1200	33	0.68	16.64
P_9	400ppm	1200	33	5.19	9.36
P_10	400ppm	1350	16	6.13	8.89
P_11	250ppm	1500	50	3.87	17.06
P_12	100ppm	1500	33	2.44	23.12
P_13	250ppm	1350	33	3.34	11.78
P_14	100ppm	1350	16	1.41	18.17
P_15	250ppm	1350	33	3.17	12.63

**Tabla 56***Consumo de Reactivos de Primera Corrida Experimental*

N°	NaOH (kg/TM)	NaCN (kg/TM)
P_1	2.38	1.88
P_2	2.38	1.86
P_3	1.83	0.99
P_4	3.05	2.25
P_5	3.05	2.2
P_6	2.38	1.81
P_7	1.83	1.18
P_8	3.05	2.97
P_9	3.05	2.19
P_10	2.38	1.27
P_11	1.83	1.27
P_12	1.83	1.18
P_13	2.38	1.66
P_14	2.38	1.58
P_15	2.38	1.96

**Tabla 57***Resultados de Leyes de Solución y Cola de la segunda corrida experimental.*

<b>N°</b>	<b>Concentración Cianuro</b>	<b>Densidad de Pulpa</b>	<b>RPM</b>	<b>Sólido (g/TM)</b>	<b>Líquido (g/m3)</b>
P_16	100ppm	1350	50	1.62	14.21
P_17	400ppm	1350	50	4.97	14.86
P_18	400ppm	1500	33	6.39	20.2
P_19	250ppm	1200	50	3.08	9.37
P_20	250ppm	1200	16	2.71	6.96
P_21	250ppm	1350	33	2.99	16.92
P_22	250ppm	1500	16	3.57	19.45
P_23	100ppm	1200	33	0.18	10.02
P_24	400ppm	1200	33	4.44	8.23
P_25	400ppm	1350	16	4.98	13.06
P_26	250ppm	1500	50	3.91	19.67
P_27	100ppm	1500	33	2.52	21.77
P_28	250ppm	1350	33	4.05	14.78
P_29	100ppm	1350	16	1.11	17.99
P_30	250ppm	1350	33	3.65	13.63

**Tabla 58***Consumo de Reactivos, Segunda Corrida Experimental*

<b>N°</b>	<b>NaOH (kg/TM)</b>	<b>NaCN (kg/TM)</b>
P_16	2.38	1.71
P_17	2.38	2.13
P_18	2	1.22
P_19	3.05	2.1
P_20	3.05	2.1
P_21	2.38	1.61
P_22	1.83	1.41
P_23	3.28	2.95
P_24	3.05	2.15
P_25	2.38	1.48
P_26	1.83	1.13
P_27	1.83	1.24
P_28	2.38	1.84
P_29	2.38	1.58
P_30	2.38	1.88

**Tabla 59***Resultados de Leyes de Solución y Cola tercera corrida experimental.*

<b>N°</b>	<b>Concentración Cianuro</b>	<b>Densidad de Pulpa</b>	<b>RPM</b>	<b>Sólido (g/TM)</b>	<b>Líquido (g/m3)</b>
P_31	100ppm	1350	50	1.25	22.21
P_32	400ppm	1350	50	4.43	15.68
P_33	400ppm	1500	33	6.16	29.2
P_34	250ppm	1200	50	2.8	7.76
P_35	250ppm	1200	16	2.93	6.16
P_36	250ppm	1350	33	2.89	12.44
P_37	250ppm	1500	16	3.73	26.97
P_38	100ppm	1200	33	0.31	9.33
P_39	400ppm	1200	33	4.07	7.74
P_40	400ppm	1350	16	4.61	11.27
P_41	250ppm	1500	50	3.26	25.81
P_42	100ppm	1500	33	2.92	26.85
P_43	250ppm	1350	33	3.55	19.78
P_44	100ppm	1350	16	1.71	15.52
P_45	250ppm	1350	33	4.41	12.77

**Tabla 60***Consumo de Reactivos, Tercera Corrida Experimental*

<b>N°</b>	<b>NaOH (kg/TM)</b>	<b>NaCN (kg/TM)</b>
P_31	2.38	1.83
P_32	2.38	2.23
P_33	1.88	1.36
P_34	3.05	2.31
P_35	3.05	2.11
P_36	2.38	1.56
P_37	1.83	1.22
P_38	3.05	3.07
P_39	3.05	2.36
P_40	2.38	1.18
P_41	1.83	1.41
P_42	1.83	0.89
P_43	2.38	1.91
P_44	2.38	1.64
P_45	2.38	1.76

**Figura 37**

*Operaciones de Fire Assay.*



**Figura 38**

*Oro obtenido por el método Fire Assay.*



### Anexo 3: Cinética de Lixiviación

**Tabla 61**

Datos de ensayos para determinar la curva cinética de lixiviación

<b>N°</b>	<b>tiempo(h)</b>	<b>Ley de Solución(g/m3)</b>	<b>Ley de Cola (g/TM)</b>	<b>R.</b>	<b>R.</b>	<b>Ensayada</b>	<b>calculada</b>
1	0	SL_CIN_00	0	LM_CIN_00	29.63	0.00%	0
2	0.083	SL_CIN_01	0.21	LM_CIN_01	28.99	2.16%	1.08
3	0.167	SL_CIN_02	0.32	LM_CIN_02	27.78	6.24%	1.7
4	0.3	SL_CIN_03	1.22	LM_CIN_03	27.12	8.47%	6.34
5	0.5	SL_CIN_04	2.91	LM_CIN_04	24.55	17.14%	15.13
6	0.67	SL_CIN_05	3.94	LM_CIN_05	21.32	28.05%	21.75
7	0.83	SL_CIN_06	4.98	LM_CIN_06	19.64	33.72%	27.61
8	1	SL_CIN_07	4.65	LM_CIN_07	19.17	35.30%	26.73
9	2	SL_CIN_08	7.88	LM_CIN_08	12.53	57.71%	48.61
10	4	SL_CIN_09	14.67	LM_CIN_09	3.68	87.58%	85.7
11	6	SL_CIN_10	16.01	LM_CIN_10	2.15	92.74%	91.8
12	8	SL_CIN_11	17.32	LM_CIN_11	2.07	93.01%	92.64
13	10	SL_CIN_12	13.68	LM_CIN_12	1.11	96.25%	92.33
14	12	SL_CIN_13	9.24	LM_CIN_13	0.37	98.75%	92.17
15	24	SL_CIN_14	12.99	LM_CIN_14	0.58	98.04%	93.4
16	48	SL_CIN_15	14.01	LM_CIN_15	0.66	97.77%	93.19
17	72	SL_CIN_16	13.66	LM_CIN_16	0.47	98.41%	96.21

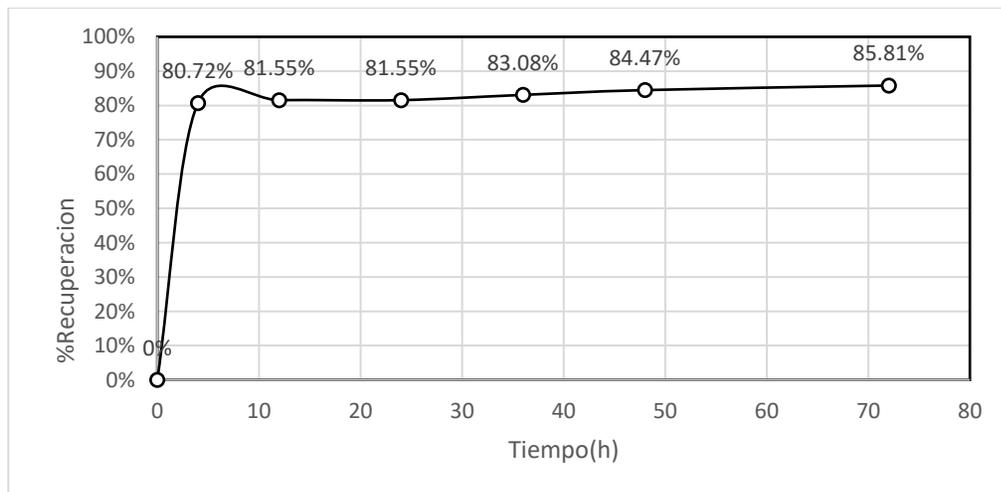
**Tabla 62**

*Antecedentes cinéticos de lixiviación*

Ley de cabeza		7.21	
Mineral (gr)	400	pH	11
Malla -200 (%)	80	NaOH (gr)	1
Volumen agua (ml)	700	[NaCN]	0.43
Prueba	NaCN(kg/TM)	NaOH(kg/TM)	Recuperacion
PB 4 Hrs	1.03	2.5	80.72%
PB 12 Hrs	1.26	2.5	81.55%
PB 24 Hrs	1.3	2.5	81.55%
PB 36 Hrs	1.86	2.5	83.08%
PB 48 Hrs	1.56	2.5	84.47%
PB 72 Hrs	1.78	2.5	85.81%

**Figura 39**

*Antecedentes de curva cinética*



**Tabla 63***Recuperación y residuos*

<b>Residuos</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Residuos</b>	<b>Recuperación</b>
-0.991111	90.94	1.20706	97.78
-0.307778	86.93	0.224556	84.66
0.374722	83.36	0.122056	95.39
0.999722	85.16	2.07289	89.63
-1.50861	78.64	1.56372	96.28
1.49222	90.01	0.170389	82.44
-		0.515389	92.02
0.0727778	89.71	1.52289	89.08
1.86639	99.4	-1.98844	90.11
2.67389	88.07	1.59489	89
0.0613889	96.29	1.28739	84.44
-0.717778	87.8	1.93239	86.26
-1.08694	94.59	-1.10594	79.21
0.159722	83.39	1.65489	90.34
-0.885278	91.58	0.599889	90.55
-2.05778	86.46	1.25906	98.96
0.629556	91.6	1.84656	87.41
1.06289	87.34	-2.16594	94.23
-2.07461	79.95	-3.56511	85.12
-0.169611	83.03	-	
-1.71794	77.47	0.0642778	95.78
0.142889	87.7	1.65239	85.05
-5.27211	83.55	-2.39261	90.24
		-0.545111	88.14

Figura 40

Plantilla excel para el calculo de recuperaciones

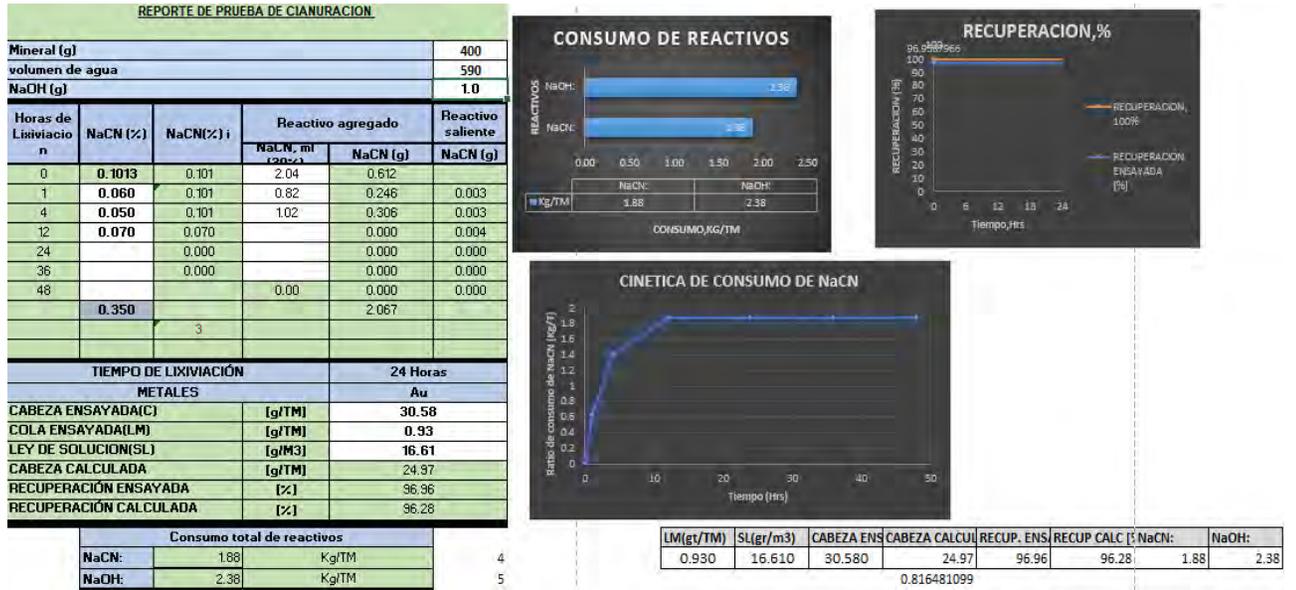


Figura 41

Laboratorio usado para las pruebas de lixiviación.



**Figura 42**

*Equipos de chancado y pulverización.*



**Figura 43**

*Análisis granulométrico.*



**Figura 44**

*Obtención de los sólidos de cola.*



**Figura 45**

*Zona de titulación de soluciones cianuradas.*



**Figura 46**

*Reactivos Utilizados.*



**Figura 47**

*Titulación de soluciones cianuradas.*



**Figura 48**

*Filtración de pulpas.*



# Anexo 4: Formatos

## Figura 49

Formatos de titulación en el proceso de lixiviación.

UNIVERSIDAD OREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-02 50RPM 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio 07:00	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Zinarc	
Min oxl	Rel oxl	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0	7:00	0.4	8.16		11
1	8:00	0.39	0.20		11
4	11:00	0.33	1.22		11
12	19:00	0.36			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD OREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
PRIMERA CORRIDA					
Codigo: P-01 50RPM 100ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio 07:00	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		9.5ml/0.95		Ensayista Zinarc	
Min oxl	Rel oxl	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0	7:00	0.1	2.04		11
1	8:00	0.06	0.82		11
4	11:00	0.05	1.02		11
12	19:00	0.07			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

Ley de cabeza PB:

UNIVERSIDAD OREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-04 50RPM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio 7:00	
Cantidad de H2O (ml)		1135ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista Zinarc	
Min oxl	Rel oxl	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0	07:00	0.25	9.76		11
1		0.19	2.31		11
4		0.24	0.39		11
12		0.22			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD OREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-03 33RPM 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		365ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Zinarc	
Min oxl	Rel oxl	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	5.07		11
1		0.37	0.38		11
4		0.37	0.38		11
12		0.38			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-06 332PM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.16		
1		0.21	0.82		
4		0.23	0.41		
12		0.20			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-05 162PM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1135ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	9.76		11
1		0.21	1.56		11
4		0.23	0.78		11
12		0.23			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-08 332PM 100ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1135		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	3.90		11
1		0.05	1.95		11
4		0.08	0.78		11
12		0.07			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-07 162PM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		365ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	3.17		11
1		0.20	0.63		11
4		0.21	0.51		11
12		0.23			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD OREX FACULTAD DE CIENCIAS		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-10		16RPM	400ppm		
Peso de mineral (g)		400g	400ppm	Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		390ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95	10.1	Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	8.16		11
1		0.39	0.20		11
4		0.37	0.61	Se reduce el pH + 1ml NaOH	10
12		0.37			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD OREX FACULTAD DE CIENCIAS		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-09		33RPM	400ppm		
Peso de mineral (g)		400g	400ppm	Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1135ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	15.61		
1		0.38	0.78		
4		0.37	1.17		
12		0.38			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD OREX FACULTAD DE CIENCIAS		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-12		33RPM	100ppm		
Peso de mineral (g)		400g	100ppm	Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		365ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	1.27		11
1		0.05	0.63		11
4		0.07	0.38		11
12		0.06			11
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD OREX FACULTAD DE CIENCIAS		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-11		30RPM	250ppm		
Peso de mineral (g)		400g	250ppm	Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		365ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	3.17		
1		0.21	0.51		
4		0.20	0.63		
12		0.22			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

 <b>DREX</b> <small>PUERTO RICO</small>		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-14 16RPM 100ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	2.04		
1		0.04	1.22		
4		0.07	0.61		
12		0.09			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

 <b>DREX</b> <small>PUERTO RICO</small>		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-13 33RPM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		11
1		0.21	0.82		11
4		0.23	0.41		11
12		0.21			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

 <b>DREX</b> <small>PUERTO RICO</small>		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-15 33RPM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		
1		0.20	1.02		
4		0.21	0.82		
12		0.22			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX PUERTO PRILLADA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-17 50 RPM 400 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista <i>Zimms</i>	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	8.16		11
1		0.34	1.22		11
4		0.33	1.43	turbación marrón	11
12		0.35			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

SEGUNDA CORRIIDA.

MINERA OREX PUERTO PRILLADA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-16 50 RPM 100 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590ml + 95		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista <i>Zimms</i>	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	2.04		11
1		0.07	0.61		11
4		0.06	0.82		11
12		0.06			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

CEY CABEZA E1: 28.99 29.92g/TM  
E2: 30.10  
E3: 30.66

MINERA OREX PUERTO PRILLADA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-19 50 RPM 250 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1135 + 122 + 172		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista <i>Zimms</i>	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	9.76		
1		0.23	0.78		
4		0.23	0.78		
12		0.22			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX PUERTO PRILLADA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-18 33 RPM 400 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		365ml + 73		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73 + 0.07		Ensayista <i>Zimms</i>	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	5.07		11
1		0.28	1.52	reducción pH + 0.7ml	10
4		0.36	0.51		11
12		0.37			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-21 33RPM 250 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)				Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		11
1		0.21	0.82		11
4		0.21	0.82		11
12		0.23			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-20 16RPM 250 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1135ml + 12.2		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	9.76		11
1		0.24	0.39		11
4		0.21	1.56		11
12		0.23			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-23 33RPM 100 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1147.2 ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g + 0.09		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	3.90		11
1		0.04	2.34	+ 0.9 ml NaOH	± 9.5
4		0.08	0.78		11
12		0.08			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX PUERTO RICO		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-22 16RPM 250 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		372.3 ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73		Ensayista Zinares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	3.17		11
1		0.20	0.63		11
4		0.20	0.63		11
12		0.21			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX FUERZA PESQUERA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-25 16RPM 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590+95=599.5		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	8.16		11
1		0.39	0.20		11
4		0.36	0.82		11
12		0.36			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX FUERZA PESQUERA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-24 33RPM 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1147.2		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	15.61		11
1		0.36	1.56		11
4		0.37	1.17		11
12		0.38			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX FUERZA PESQUERA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-27 33RPM 100ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		372.3ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73		Ensayista Linares	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	1.27		
1		0.06	1.22	NaCN destruido	
4		0.09	0.13		
12		0.08			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

UNIVERSIDAD DREX FUERZA PESQUERA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-26 50RPM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		372.3		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73		Ensayista Linares	
Min oxi	Rel oxi	Espumante			
Min Sulf	Rel sulf				
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	3.17		
1		0.20	0.63		
4		0.22	0.38		
12		0.22			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MUESTRA <b>DREX</b> PUERTA PEÑASCA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-29 160 PPM 100 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5 ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Zinacs	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	2.04		11
1		0.06	0.22		11
4		0.06	0.22		11
12		0.08			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MUESTRA <b>DREX</b> PUERTA PEÑASCA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-28 330 PPM 250 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5 ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Zinacs	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		
1		0.22	0.61		
4		0.20	1.95	exceso de NaCN	
12		0.26			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

TERCERA CORRIDA.

MUESTRA <b>DREX</b> PUERTA PEÑASCA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-31 500 PPM 100 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5 ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Zinacs	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	2.04		
1		0.05	1.02		
4		0.07	0.86		
12		0.05			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

Cey 29.63g/TM Ins. Zinacs

MUESTRA <b>DREX</b> PUERTA PEÑASCA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-30 330 PPM 250 ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		590 ml + 9.5		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Zinacs	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		11
1		0.23	0.41		11
4		0.22	0.61		11
12		0.21			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX SOLERA PERUANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-33 33RPM 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		372.3ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g + 0.02		Ensayista	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	5.07		
1		0.35	0.63	+ 0.02g NaOH	
4		0.36	0.51		
12		0.36			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX SOLERA PERUANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-32 50RPM 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	8.16		
1		0.33	1.43		
4		0.37	<del>1.84</del>	0.61	
12		0.36			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX SOLERA PERUANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-35 16RPM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1147.2ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista: Zmarcos	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	9.76		
1		0.23	0.78		
4		0.23	1.56		
12		0.25			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX SOLERA PERUANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-34 50RPM 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1147.2ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.22g		Ensayista	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	9.76		
1		0.22	1.17		
4		0.22	1.17		
12		0.21			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA DREX FUNDICIÓN PERUVIANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-37 16RPH 250ppm					
Peso de mineral (g)		400ppm		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		3723ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Zmaros	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	3.17		
1		0.20	0.63		
4		0.20	0.63		
12		0.23			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA DREX FUNDICIÓN PERUVIANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-36 33RPH 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Zmaros	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		
1		0.23	0.41		
4		0.21	0.82		
12		0.22			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA DREX FUNDICIÓN PERUVIANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-39 33RPH 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1147.2ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.27g		Ensayista Zmaros	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	15.61		
1		0.37	1.17		
4		0.37	1.17		
12		0.38			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA DREX FUNDICIÓN PERUVIANA		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-38 33RPH 100ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		1147.2ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		1.27g		Ensayista Zmaros	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	3.90		
1		0.060	1.56		
4		0.07	1.17		
12		0.06			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX LIXIVIACIÓN		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-41 50RPH 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		372.3ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Linares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	3.17		
1		0.20	0.63		
4		0.21	0.51		
12		0.20			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX LIXIVIACIÓN		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-40 16RPH 400ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95g		Ensayista Linares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.4	8.16		
1		0.37	0.61		
4		0.38	0.41		
12		0.38			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX LIXIVIACIÓN		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-43 33RPH 250ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		599.5ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.95		Ensayista Linares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf	✓	Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.25	5.10		
1		0.21	0.82		
4		0.19	1.22		
12		0.23			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

MINERA OREX LIXIVIACIÓN		PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN		UNIDAD DE SAN JUAN	
Codigo: P-42 33RPH 100ppm					
Peso de mineral (g)		400g		Hora de inicio	
Cantidad de H2O (ml)		372.3ml		Fecha de inicio	
Cantidad de NaOH (g)		0.73g		Ensayista Linares	
Min oxi		Rel oxi		Espumante	
Min Sulf		Rel sulf			
Tiempo	Hora	%NaCN	NaCN (ml)	Observaciones	pH
0		0.1	1.27		
1		0.08	0.25		
4		0.07	0.38		
12		0.06			
24					
36					
48					
60					
72			IC		
84			IM		
96			IL		

Figura 50

Formatos IPERC.

MINISTERIO VENEZOLANO DE EDUCACIÓN Y SALUD (MINSAP)

**ANEXO N° 7 - IPERC CONTINUO**  
**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, EVALUACIÓN DE RIESGO Y CONTROL**

LUGAR: SAN CARLOS DE ARRIAGA  
PROCESO: TRABAJO SOCIAL  
SERVICIO: NEOLÓGICA  
FECHA: 12/05/17

ÁREA: *Neología*      COMPAÑÍA: *Neología*      LABOR/SUBLABOR: *Neología*      FIRMA: \_\_\_\_\_

NOMBRE DE ACTIVIDAD O TAREA: *Neología*

SEVERIDAD	NIVEL DE EXPOSICIÓN DE PELIGRO				EFECTO	EXPOSICIÓN	PLAZO PARA CORREGIR
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5

**DATA DE SU REGISTRO**  
NOMBRES Y APELLIDOS: \_\_\_\_\_      FIRMA: \_\_\_\_\_

RELACION/ ASPECTO	RIESGO/ IMPACTO	NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	EVALUACIÓN		
		ALTO	MEDIO	BAJO		ALTO	MEDIO	BAJO
<i>Finde</i>	<i>Exposición al ruido</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Alto</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			
<i>Exposición al ruido</i>	<i>Exposición a otros ruidos</i>				<i>Se disminuye el ruido</i>			

**SECCIONES PARA CONTROLAR**

1. *Se disminuye el ruido*

2. *Se disminuye el ruido*

3. *Se disminuye el ruido*

4. *Se disminuye el ruido*

5. *Se disminuye el ruido*

**DATA DE SU REGISTRO**

HORA: \_\_\_\_\_      NOMBRE DEL SUPERVISOR: \_\_\_\_\_      FIRMA: \_\_\_\_\_

**SECCIONES PARA CONTROLAR**

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_

SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

**ANEXO N° 7 - IPERC CONTINUO**  
**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, EVALUACIÓN DE RIESGO Y CONTROL**

LUGAR: SAN JOSÉ DE KAYALIPI  
FECHA: 18/05/2014  
CARGO: SEGURIDAD  
PÁGINA: 1 DE 10

ÁREA: Producción DONDE SE VE: Producción LA DELEGACIÓN: Producción REGIONAL:

NOMBRE DEL ACTIVIDAD/TAREA: Producción de la línea de producción

SEVERIDAD	MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS					SEVERIDAD DEL RIESGO	ACCIONES	SEVERIDAD DEL RIESGO
Catastrófica	5	5	5	5	5	25	Alto	Alto
Muerta	3	3	3	3	3	9	Medio	Medio
Permanente	3	3	3	3	3	9	Medio	Medio
Temporales	3	3	3	3	3	9	Medio	Medio
Menor	1	1	1	1	1	1	Bajo	Bajo

LEGENDA: 5 = Muerte, 3 = Lesión permanente, 1 = Lesión temporal o enfermedad ocupacional.

**SEVERIDAD DEL RIESGO**

SEVERIDAD DEL RIESGO	ACCIONES	SEVERIDAD DEL RIESGO
ALTO	Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas y equipos de trabajo.	Alto
MEDIO	Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas y equipos de trabajo.	Medio
BAJO	Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas y equipos de trabajo.	Bajo

**SEVERIDAD DEL RIESGO**

HORA	NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA
18:00	Diego José...	[Firma]

**IPERC CONTINUO**

PELIGRO/ASPECTO	RISGO/IMPACTO	SEVERIDAD DEL RIESGO		MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	SEVERIDAD DEL RIESGO	
		ALTO	MEDIO		ALTO	MEDIO
1. Falta de mantenimiento	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas y equipos de trabajo.		Medio
2. Uso de herramientas	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas y equipos de trabajo.		Medio
3. Falta de capacitación	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de capacitación y entrenamiento de los operarios.		Medio
4. Falta de procedimientos	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de capacitación y entrenamiento de los operarios.		Medio
5. Falta de EPP	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de capacitación y entrenamiento de los operarios.		Medio
6. Falta de señalización	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de capacitación y entrenamiento de los operarios.		Medio
7. Falta de iluminación	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de capacitación y entrenamiento de los operarios.		Medio
8. Falta de mantenimiento	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas y equipos de trabajo.		Medio
9. Falta de capacitación	Lesiones, enfermedades			Realizar actividades de capacitación y entrenamiento de los operarios.		Medio

**SEVERIDAD DEL RIESGO**

NOMBRE	NOMBRE DE SUPERVISOR	ACTIVIDAD DESEMPLEADA	FIRMA
1	Diego José...		[Firma]

**CRONOGRAMA**

SEVERIDAD DEL RIESGO DESPUÉS DE IMPLEMENTAR:

SEVERIDAD DEL RIESGO	SEVERIDAD DEL RIESGO
1	Medio
2	Medio
3	Medio
4	Medio
5	Medio
6	Medio
7	Medio
8	Medio
9	Medio

SEVERIDAD DEL RIESGO DESPUÉS DE IMPLEMENTAR: Medio



UNIDAD DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

**ANEXO N° 7 - IPERC CONTINUO**  
**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, EVALUACIÓN DE RIESGO Y CONTROL**

U.G. SAN JUAN DE LOS RIOS

ESTADO: HOJAS 01

CANTON: SAN JUAN

PARTE: 0001

AREA: **LABORAL** / **LABOR/LUGAR** / **FECHA:**

**FORMA DE ACTIVIDAD:**

SEVERIDAD	NIVEL DE EVALUACIÓN DE RIESGOS					TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
Letal/Grave	1	2	3	4	5	ALTO	Riesgo de lesiones por movimiento repetitivo y vibración, que se produce al operar el equipo de perforación de la boya.	4-10 horas
Grave/serio	6	7	8	9	10	MEDIO	Riesgo de lesiones por vibración y ruido, al operar el equipo de perforación de la boya en condiciones de trabajo prolongadas.	8-21 horas
Leve	11	12	13	14	15	BAJO	Riesgo de lesiones por fatiga.	1 hora

**DETALLE DE LAS TRANSACCIONES**

HORA	NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA
7:00	Juan José Aguilar	[Firma]

**INDICADORES**

PELIGRO/ASPECTO	RIESGO/IMPACTO	NIVEL DE RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL IMPLEMENTADAS	NIVEL DE RIESGO
...	...	...	...	...

**SECUENCIA PARA CONTINUAR**

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. ...

**OPINIÓN DE LOS SUPERVISORES**

NOMBRE	FECHA DE LA SUPERVISIÓN	MEDIDA CORRECTIVA	FIRMA
...	...	...	[Firma]

**OPINIÓN DE TRABAJADORES**

OPINIÓN DEL SUPERVISOR: ...

OPINIÓN DE LOS TRABAJADORES: ...

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD O TAREA: *Trabajo de mantenimiento y limpieza de áreas*  
 LOCALIDAD: *San José*  
 FECHA: *15/05/2023*

SEVERIDAD	NIVEL DE RIESGO					BASE DE RIESGO	DESCRIPCION	FECHA DEL CONTROL
Alta	5	4	3	2	1	A	Riesgo moderado, requiere monitoreo constante y acciones preventivas inmediatas.	15/05/2023
Mediana	4	3	2	1	B	Riesgo bajo, requiere monitoreo constante y acciones preventivas.	15/05/2023	
Baja	3	2	1	0	C	Riesgo muy bajo, requiere monitoreo constante y acciones preventivas.	15/05/2023	
Muy Baja	2	1	0	0	D	Riesgo insignificante, requiere monitoreo constante y acciones preventivas.	15/05/2023	
0	1	0	0	0	E	Riesgo nulo, requiere monitoreo constante y acciones preventivas.	15/05/2023	

**LISTA DE LOS TRABAJADORES:**

NOMBRE	NO. DE IDENTIFICACION	FECHA
<i>Manuel Lopez</i>	<i>12345</i>	<i>15/05/2023</i>
<i>Carlos Ruiz</i>	<i>67890</i>	<i>15/05/2023</i>

**IPERC CONTINUO**

PELIGRO/ASPECTO	Riesgo/IMPACTO	NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	FECHA DEL CONTROL		
		ALTA	MEDIANA	BAJA		ALTA	MEDIANA	BAJA
<i>Caída de objetos</i>	<i>Lesiones por impacto</i>				<i>Uso de casco de seguridad</i>			<i>15/05/2023</i>
<i>Tráfico de maquinaria</i>	<i>Lesiones por choque</i>				<i>Delimitación de zonas de trabajo</i>			<i>15/05/2023</i>
<i>Trabajo en altura</i>	<i>Lesiones por caída</i>				<i>Uso de arneses de seguridad</i>			<i>15/05/2023</i>
<i>Manejo de herramientas</i>	<i>Lesiones por corte</i>				<i>Uso de guantes de protección</i>			<i>15/05/2023</i>
<i>Exposición a ruido</i>	<i>Pérdida de audición</i>				<i>Uso de tapones de oídos</i>			<i>15/05/2023</i>

- RECOMENDACIONES/CONTROLES:**
- 1. Uso obligatorio de casco.*
  - 2. Delimitación de zonas de trabajo.*
  - 3. Uso de arneses de seguridad.*
  - 4. Uso de guantes de protección.*
  - 5. Uso de tapones de oídos.*

**PLAN DE LAS DEFENSIONES:**

NOMBRE	FECHA DEL DEFENSIVO	FECHA CORRECTIVA	OTROS
<i>Manuel Lopez</i>	<i>15/05/2023</i>	<i>15/05/2023</i>	<i>15/05/2023</i>

**OTROS DATOS:**

1	
2	
3	
4	
5	