



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



LIXIVIACIÓN CON GOLDMAX MINERALES AURÍFEROS
OXIDADOS POR AGITACIÓN PARA MEJORAR LA
RECUPERACIÓN DE ORO DEL YACIMIENTO MINERO
SOCSAN DE PUCARÁ - PUNO, 2021.

TESIS

PRESENTADA POR:

YELTSIN CLAUDIO MAMANI ASCENCIO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

LIXIVIACIÓN CON GOLDMAX MINERALES AURÍFEROS OXIDADOS POR AGITACIÓN PARA MEJORAR LA RECUPERACIÓN DE O

AUTOR

YELTSIN CLAUDIO MAMANI ASCENCI

RECuento DE PALABRAS

18904 Words

RECuento DE CARACTERES

97278 Characters

RECuento DE PÁGINAS

125 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

14.1MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 28, 2024 6:42 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 28, 2024 6:44 PM GMT-5

● 12% de similitud general

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

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)


DR. HÉCTOR CLEMENTE HERRERA CORDOVA
ING. METALURGISTA
CIP N° 43152
ASESOR


Dr. Hipólito Córdova Gutiérrez
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

Resumen



DEDICATORIA

A jehová creador de todo, a mis padres Fredy y Elizabeth por ser ejemplo de superación por su apoyo incondicional en mis de culminación de pre grado.

A mis amigos que tuvieron una palabra de apoyo para mi durante mis estudios y el desarrollo de mi tesis.

Yeltsin Claudio Mamani Ascencio



AGRADECIMIENTOS

A nuestro Padre Celestial por darme la vida, salud, sabiduría, por la dicha de ser la persona que soy.

A la Universidad por haberme dado la base fundamental científica y cobijarme en sus aulas educativas para el logro de mi carrera.

Quiero agradecer a aquellas personas que contribuyeron con sus conocimientos para la culminación y para la conclusión de esta tesis. Especialmente a mi Asesor Dr. Héctor Herrera Córdova por su asesoría dispuesta aun en la distancia. Gracias al M.Sc. Sergio Tito Arohuanca, M.Sc. Grover Flores Ponce, y M.Sc. Faviola Coa Huanca.

A todo ellos porque juntos compartimos infinidad de momentos, alegrías, presiones, pero también espacios de aprendizaje y trabajo colaborativo, a todos ellos muchas gracias y el mejor de los éxitos en todo lo que decidan emprender.

Yeltsin Claudio Mamani Ascencio



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problema específico	19
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. Hipótesis General.....	19
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	20
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1. Objetivo General	21
1.5.2. Objetivos Específicos.....	21



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	23
2.2.	MARCO TEORICO	26
2.2.1.	Lixiviación de oro y plata por cianuración.....	26
2.2.2.	Minerales oxidados de oro	26
2.2.3.	Método de lixiviación por agitación.....	26
2.2.4.	Cianuración Dinámica o Agitación	27
2.2.5.	Alternativas de agente lixivante para la extracción de Oro.....	28
2.2.6.	Tipos de procesos de cianuración.....	33
2.2.7.	Reactivo alternativo GoldMax	34
2.2.8.	Mecanismo de lixiviación	35
2.2.9.	Efecto de las diferentes variables del proceso.....	36
2.2.10.	Parámetros de control.....	37
2.2.11.	Lixivante Gold MAX	38
2.2.12.	Ventajas del reactivo GoldMax.....	39
2.2.13.	Consideraciones en prueba industrial.....	40
2.2.14.	Diseño Experimental.....	42
2.2.15.	Diseño Factorial	43
2.2.16.	Principio de ANOVA para el diseño factorial de dos factores	47

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	48
3.2.	PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	48
3.3.	PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO	49



3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	49
3.5.	DISEÑO ESTADÍSTICO	50
3.6.	PROCEDIMIENTO.....	50
3.6.1.	Metodología	50
3.6.2.	Tipo de investigación	50
3.6.3.	Nivel de investigación.....	50
3.6.4.	Diseño de la investigación.....	51
3.6.5.	Desarrollo del procedimiento de investigación.....	51
3.6.6.	Materiales y equipos.....	52
3.6.7.	Determinación de la densidad aparente.....	56
3.6.8.	Pruebas de lixiviación	57
3.6.9.	Control y muestreo durante la lixiviación con GoldMax	58
3.6.10.	Preparación de reactivos.....	59
3.7.	VARIABLES	61
3.7.1.	Variables del proceso y su clasificación	61
3.7.2.	Variable dependiente.....	62
3.7.3.	Variables independientes.....	63

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	PRUEBAS DE EVALUACIÓN	65
4.1.1.	Determinación de propiedades físicas.....	65
4.2.	PRUEBAS DE PREPARACIÓN MECÁNICA	66
4.2.1.	Chancado.....	66
4.2.2.	Molienda.....	70
4.3.	PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN	71



4.3.1. Pruebas preliminares	71
4.3.2. Pruebas para Diseño Experimental	76
4.4. OPTIMIZACIÓN DE LIXIVIACIÓN.....	79
4.4.1. Optimización para el Cianuro	80
4.4.2. Optimización para el Gold Max	90
4.5. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE LIXIVIACIÓN	101
V. CONCLUSIONES.....	105
VI. RECOMENDACIONES.....	106
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	107
ANEXOS.....	110

Área: Metalurgia extractiva

Tema: Lixiviación con Goldmax minerales auríferos oxidados por agitación

Fecha de sustentación: 29 de abril del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales parámetros del método de cianuración de mineral del oro.	34
Tabla 2. Componentes de GoldMax	36
Tabla 3. Elementos del agente de extracción Gold Max	37
Tabla 4. Valores de las variables codificadas.....	45
Tabla 5. Las fórmulas simplificadas para calcular el estadístico F0 hasta llegar al valor-p.....	47
Tabla 6. Descripción del uso del Mineral Preparado.....	54
Tabla 7. Parámetros de Operación en Lixiviación.	61
Tabla 8. Determinación de la gravedad específica.	66
Tabla 9. Determinación de densidad aparente y porosidad.	66
Tabla 10. Análisis de granulometría del mineral de cabeza.	67
Tabla 11. Análisis Granulométrico del Chancado.....	69
Tabla 12. Resultados del tiempo de molienda.....	70
Tabla 13. Resultados de las pruebas metalúrgicas preliminares con cianuro.....	71
Tabla 14. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 3 g/L NaCN; 11 pH y 75% - #200	72
Tabla 15. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 2 g/L NaCN; 12 pH y 80% - #200	73
Tabla 16. Resultados de las pruebas metalúrgicas preliminares con GoldMax.	74
Tabla 17. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.25 g/L Goldmax; 11 pH y 75% -#200	74
Tabla 18. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.75 g/L Goldmax; 12 pH y 80% -#200	75



Tabla 19.	Variables determinadas para el diseño experimental con cianuro.....	77
Tabla 20.	Niveles de las variables para el Cianuro.....	77
Tabla 21.	Planificación y resultados del diseño experimental con cianuro.....	77
Tabla 22.	Resultados de replicas en el centro del diseño experimental con Cianuro.	78
Tabla 23.	Variables determinadas para el diseño experimental con GoldMax.	78
Tabla 24.	Niveles de las variables para Gold Max	78
Tabla 25.	Planificación y Resultados Del Diseño Experimental con Gold Max.....	79
Tabla 26.	Resultados de Replicas en el Centro Del Diseño Experimental con Gold Max.....	79
Tabla 27.	Resultado de variable respuesta en el diseño factorial	80
Tabla 28.	Resultado del cálculo de efectos.....	81
Tabla 29.	Análisis de varianza (ANOVA).....	83
Tabla 30.	Análisis de T-Student.	86
Tabla 31.	Estimación de residuos.	88
Tabla 32.	Combinación de los niveles de los factores.....	90
Tabla 33.	Resultado de variable respuesta en el diseño factorial	90
Tabla 34.	Resultado del cálculo de efectos.....	91
Tabla 35.	Análisis de varianza (ANOVA).....	94
Tabla 36.	Análisis de T-Student.	96
Tabla 37.	Estimación de residuos.	98
Tabla 38.	Combinación de los niveles de los factores.....	101
Tabla 39.	Resumen de Lixiviación con Cianuro.	101
Tabla 40.	Resumen de lixiviación con Gold Max	102
Tabla 41.	Comparación de costos del Cianuro vs. Gold Max en las pruebas por diseño experimental de lixiviación	103



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Equipo para lixiviación por agitación.....	27
Figura 2. Niveles: Diseño Factorial 2^k	44
Figura 3. Diseño factorial para 2^k con tres factores y réplicas centrales.....	46
Figura 4. Ubicación geográfica del yacimiento minero Socsan	48
Figura 5. Muestra del mineral de tipo óxido aurífero utilizado para la lixiviación. ..	49
Figura 6. Etapas del trabajo experimental-descriptivo	51
Figura 7. Etapas de desarrollo de los resultados	65
Figura 8. Determinación gráfica del F80 del mineral de cabeza.	68
Figura 9. Determinación gráfica del P80 del Chancado.	70
Figura 10. Tiempo de Molienda.....	71
Figura 11. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 3 g/L NaCN; 11 pH y 75% - #200	72
Figura 12. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 2 g/L NaCN; 12 pH y 80% - #200.	73
Figura 13. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.25 g/L Goldmax; 11 pH y 75% -#200.....	75
Figura 14. Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.75 g/L Goldmax; 12 pH y 80% -#200.....	76
Figura 15. Representación Geométrica de 2^3 (medias de los datos).	80
Figura 16. Grafica de Efectos principales.....	81
Figura 17. Grafica de Interacción.	82
Figura 18. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	83
Figura 19. Normalidad de efectos estandarizados.	84



Figura 20. Gráfico normal de residuos	88
Figura 21. Residuos vs valor estimado.	89
Figura 22. Residuos vs orden observación.	89
Figura 23. Representación Geométrica de 2^3 (medias de los datos).	91
Figura 24. Grafica de Efectos principales.....	92
Figura 25. Grafica de Interacción.	92
Figura 26. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	94
Figura 27. Normalidad de efectos estandarizados.	95
Figura 28 Gráfico normal de residuos	99
Figura 29. Residuos vs Valor estimado.	99
Figura 30. Residuos vs orden observación.	100
Figura 31. Comparación de las metodologías de lixiviación de Cianuro y Goldmax	102



ACRÓNIMOS

pH:	Potencial de hidrogeno
Au:	Oro
Tm/d:	Toneladas métricas día
NaCN:	Cianuro de sodio
CIP:	Carbón en pulpa
CIL:	Carbón en lixiviación
CIC:	Carbón en columna
CaO:	Oxido de calcio
CN-:	Cianuro libre
AgNO₃:	Nitrato de plata
Ki:	Ioduro de potasio
%H:	Porcentaje de humedad
RPM:	Revoluciones por minuto
Dp:	Densidad de la pulpa
G.E.:	Gravedad especifica



RESUMEN

Actualmente, la industria metalúrgica juega un rol importante en la búsqueda de nuevas alternativas de procesamiento con tecnologías limpias sin contaminar el medio ambiente, eficientes, económicas y rentables que sustituyan a los procesos de lixiviación tradicionales; en tal razón se desarrolló el presente trabajo de investigación cuyo objetivo es Lixiviar con GoldMax minerales auríferos oxidados por agitación para mejorar la recuperación de oro del yacimiento minero Socsan de Pucará-Puno, 2021, utilizándose la metodología experimental-descriptiva. De acuerdo a las pruebas preliminares de lixiviación por agitación se ha establecido que las variables que tienen mayor influencia en el proceso son la concentración con GoldMax, el pH y el tiempo, variables que han servido para realizar las pruebas experimentales utilizándose para ello un diseño factorial 23 donde se realizaron 8 pruebas experimentales con 3 repeticiones en el punto central. La concentración con Gold Max se evaluó entre 0.5 g/L a un máximo de 1 g/L, el pH entre 10 a 12 y el tiempo entre 24 a 48 horas para así obtener el modelo matemático completo del proceso de lixiviación con GoldMax. Así mismo, los resultados que se obtuvieron por diseño experimental demuestran que el porcentaje de recuperación de oro en solución alcanza un máximo de 94.87 % y bajo consumo de reactivo de 5.61 Kg/TM a una concentración con Gold Max de 0.5 g/l, pH:12, tiempo de lixiviación: 48 horas. Finalmente, el Análisis Costo - Beneficio demuestra que implementando una planta piloto de 50 TMD el reactivo cianuro costará S/. 4896.00 y el reactivo Gold Max costará S/.4207.00, habiendo un saldo favorable de S/. 689.00 por día, recomendándose utilizar el reactivo ecológico Gold Max, donde sus relaves no generan impactos ambientales significativos.

Palabras Clave: Agitación, Gold Max, Lixiviación, Óxidos auríferos, Recuperación.



ABSTRACT

Currently, the metallurgical industry plays an important role in the search for new processing alternatives with clean technologies without contaminating the environment, efficient, economical and profitable that replace traditional leaching processes; For this reason, this research work was developed, the objective of which is to leach oxidized gold minerals with GoldMax by agitation to improve the recovery of gold from the Socsan mining deposit in Pucará-Puno, 2021, using the experimental-descriptive methodology. According to the preliminary agitation leaching tests, it has been established that the variables that have the greatest influence on the process are the concentration with GoldMax, the pH and time, variables that have been used to carry out the experimental tests using a factorial design. 23 where 8 experimental tests were carried out with 3 repetitions at the central point. The concentration with Gold Max was evaluated between 0.5 g/L to a maximum of 1 g/L, the pH between 10 to 12 and the time between 24 to 48 hours in order to obtain the complete mathematical model of the leaching process with GoldMax. Likewise, the results obtained by experimental design demonstrate that the percentage of recovery of gold in solution reaches a maximum of 94.87% and low reagent consumption of 5.61 Kg/TM at a concentration with Gold Max of 0.5 g/l, pH :12, leaching time: 48 hours. Finally, the Cost-Benefit Analysis shows that implementing a 50 TMD pilot plant, the cyanide reagent will cost S/. 4896.00 and the Gold Max reagent will cost S/.4207.00, with a favorable balance of S/. 689.00 per day, it is recommended to use the ecological Gold Max reagent, where its tailings do not generate significant environmental impacts.

Keywords: Agitation, Gold Max, Leaching, Gold oxides, Recovery.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la extracción de oro de minerales auríferos en el Perú y la Región de Puno utiliza técnicas de lixiviación con reactivos, que pueden ser efectivas, pero limitan el monitoreo, el procesamiento, el transporte y la manipulación, son muy tóxicos y pueden dañar la salud y el medio ambiente

La presente investigación surge de la necesidad lixiviar con GoldMax minerales auríferos oxidados por agitación con lo cual se quiere mejorar la recuperación de oro, con el propósito de minimizar el consumo de Cianuro de Sodio utilizados en pequeña minería aurífera artesanal o informal, los expertos en los campos minero y metalúrgico buscan técnicas alternativas más limpias para la extracción de oro con concentración gravimétrica centrífuga y la lixiviación con nuevos reactivos.

El Gold Max es un producto que ofrece al mercado la empresa Royal Chemical de Mexico, elaborado con materias primas libres de impurezas y utilizado en la fabricación de fertilizantes, lo que lo convierte en un lixivante alternativo al cianuro. Este reactivo de extracción de oro puede reemplazar el uso tradicional de cianuro de sodio (NaCN), que es tóxico en grandes dosis y ampliamente reconocido como el único lixiviado de Au-Ag, que se verá en un enfoque diferente con este nuevo producto. Se puede utilizar además de la lixiviación en tanques y procesos de lixiviación tipo CIP y CIL sin mayores inconvenientes de molienda. La lixiviación utilizando Gold Max se desarrolla eficientemente a un pH = 11-12, es muy estable y confiable en desempeño, con alta tasa de lixiviación por unidad de tiempo, lo que ofrece una fluidez en el tiempo de extracción (cinética).



La investigación busca comprobar la recuperación de oro mediante pruebas experimentales de lixiviación por agitación a nivel laboratorio, bajo las condiciones de operación para una granulometría de 65% - m200 y 30% de sólidos, lo cual permitirá a las empresas mineras evaluar y determinar si es técnicamente viable para aplicaciones a nivel industrial.

Debido a que no se cuenta con suficientes estudios de alcance nacional sobre los beneficios del reactivo GOLDMAX, el presente trabajo es conveniente porque tendría su aplicación en la industria de la minería, en proyectos que estén iniciando operaciones, mitigando el problema de la contaminación originado por un proceso de lixiviación convencional.

Los parámetros de la prueba de lixiviación agitada con Gold Max son la concentración de Gold Max que se dan a valor bajo de 0.5 g/L hasta un valor alto de 1 g/L), valor de pH de 10 para valor bajo y pH 12 para valores altos en un tiempo de 24 horas a 48 horas, al desarrollar y optimizar el proceso a través de diseños experimentales, se obtuvo una recuperación máxima de oro en solución de 95.5% al trabajar a una concentración Gold Max de 0.5 g/L a un pH de 12 y una lixiviación de 48 horas. El agente de extracción de oro Gold Max tiene una eficiencia de disolución dentro del rango esperado.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerando los requisitos técnicos, ambientales y económicos actuales y futuros, es necesario estudiar y utilizar reactivos de lixiviación de oro que sean rentables, no tóxicos, económicos, fácilmente disponibles y fáciles de manejar.

Debido a problemas ambientales causados por prácticas inadecuadas en la extracción de oro como: Por ejemplo: la fundición de mercurio y las características de



impacto ambiental de la minería de oro artesanal o informal a pequeña escala han sido, y siguen siendo, trabajo de expertos en este campo, y aún están siendo investigados, por otra parte en nuestra región Puno existe poca información y práctica respecto a nuevas técnicas en la aplicación de la extracción de oro a partir de reactivos Gold Max; en tal razón este es el campo en el que estoy evaluando nueva propuesta de lixiviación por agitación, buscando técnicas y alternativas más limpias para la extracción de oro, como la concentración gravimétrica centrífuga o la lixiviación con nuevos insumos ecológicos como es el GoldMax.

Así mismo debido a la baja recuperación gravimétrica de oro en el depósito minero de Socsan, se propone el uso de una nueva tecnología de recuperación de oro mediante un método de lixiviación agitada utilizando el reactivo Gold Max, que permite recuperar el oro sin afectar negativamente al medio ambiente ni a la salud de los trabajadores.

Por lo tanto, este estudio se realizó lixiviando estos minerales utilizando el reactivo GoldMax bajo las condiciones recomendadas por el fabricante con el fin de obtener resultados satisfactorios y confirmar estudios previos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Sera posible lixiviar con GoldMax minerales auríferos oxidados por agitación para mejorar la recuperación de oro en minera Pucará – Región Puno?



1.2.2. Problema específico

- ¿Será posible determinar las variables que tienen mayor influencia para realizar las pruebas experimentales por pruebas preliminares de lixiviación por agitación?
- ¿Será posible determinar el porcentaje de recuperación del oro y su consumo considerando las variables de concentración, Ph y tiempo de lixiviación través del diseño factorial 2³
- ¿Será posible evaluar la eficiencia del nuevo insumo ecológico y un análisis costo beneficio?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

- Lixiviando con GoldMax minerales auríferos oxidados por agitación se mejora la recuperación de oro en minera Pucará – Región Puno.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- Realizando pruebas preliminares de lixiviación por agitación se determina las variables que tienen mayor influencia para realizar las pruebas experimentales
- Aplicando el diseño factorial 2³ se determina el porcentaje de recuperación del oro y su consumo considerando las variables de concentración, pH y tiempo de lixiviación.
- Analizando el nuevo insumo ecológico y su análisis costo beneficio se evalúa su eficiencia



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Ante el impacto que genera el cianuro de sodio el cual es una sal contaminante altamente soluble en agua, es fácilmente transportable en aguas de ríos y absorbible por materias orgánicas afectando fauna y flora, que a su vez afecta de manera indirecta, por ingesta, a seres humanos o de manera directa por mala manipulación, resulta de especial interés conocer que en la lixiviación de óxidos de oro implica el uso inadecuado de cianuro de sodio sin un plan de manejo ambiental, y el impacto ambiental es tan alto que la minería artesanal y de pequeña escala sigue siendo considerada la causa principal de la degradación ambiental, y a partir de ahí, adoptar las medidas que permitan disminuir el uso Cianuro de Sodio en la lixiviación de óxidos auríferos, tomando conciencia acerca de la importancia del cuidado del medio ambiente, también el nuevo concepto de vida de “Minería Sustentable”. Actualmente existen una serie de ingredientes activos que se consideran alternativas eficaces al cianuro de sodio. Uno de ellos se conoce comercialmente como GoldMax. Que fue desarrollado y fabricado por Royal Chemical Company del Perú, este reactivo ofrece importantes ventajas sobre otros agentes lixiviantes y es ampliamente adoptado por empresas del mercado sudamericano. La lixiviación ecológica con GoldMax es un tema innovador que pretende abarcar toda la región Puno.

La presente investigación surgió de la necesidad de lixiviar minerales de oro oxidados con GoldMax mediante agitación, para mejorar así la recuperación de oro resultante de la extracción de oro con cianuro de sodio, que es común su uso en la minería de oro, ya sea artesanal o informal que generan un impacto en el medio ambiente; es en tal razón que los profesionales que trabajan en el sector minero-metalúrgico buscan técnicas alternativas más limpias para recuperar oro como la concentración gravimétrica centrífuga y la lixiviación con nuevos reactivos.



La investigación busca comprobar la recuperación de oro mediante pruebas experimentales de lixiviación por agitación a nivel laboratorio, bajo las condiciones de operación para una granulometría de 65% - m200 y 30% de sólidos, para que las empresas minero-metalúrgicas ya sea de nuestra Región de Puno y de otras Regiones puedan evaluar y decidir si es técnicamente rentable o no para su aplicación y uso a nivel industrial.

Promover y alentar a las pequeñas empresas mineras que hagan uso de nuevos reactivos alternativos como es el caso del GoldMax para extraer metales preciosos, y permitir que las pequeñas empresas minero-metalúrgico colaboren con las comunidades locales en cuanto se refiere a la contaminación de su entorno y así evitar los conflictos sociales que a menudo ocurren en la actualidad.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

- Lixiviar con GoldMax minerales auríferos oxidados por agitación para mejorar la recuperación de oro del yacimiento minero Socsan de Pucará-Puno, 2021

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar por pruebas preliminares de lixiviación por agitación las variables que tienen mayor influencia para realizar las pruebas experimentales
- Determinar a través del diseño factorial 2³ el porcentaje de recuperación del oro y su consumo considerando las variables de concentración, pH y tiempo de lixiviación.



- Evaluar la eficiencia del nuevo insumo ecológico y un análisis costo beneficio.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Saavedra (2022), en su estudio, analizó cómo se extrae el oro de minerales oxidados en la UM Pucamarca utilizando un reactivo llamado Goldmax. Se desarrolló utilizando una muestra de mineral del tajo Checocollo a 0,948 g/t de Au y se sometió a pruebas rápidas de cianuro (QLT), prueba de Lixiviación en Botella (BRT) y Prueba de Lixiviación en Columna (CLT). Las pruebas QLT revelaron que este mineral tiene la capacidad de extraer 90% de oro y producir cianurabilidad, y las pruebas BRT mostraron que GoldMax lixivía oro de manera similar al cianuro de sodio. Se realizaron pruebas de lixiviación en cuatro columnas. Las dos primeras columnas se lixivian con NaCN (una curada a 60 ppm y la otra a 600 ppm) y las dos últimas columnas se lixiviaron con GoldMax (una curada a 60 ppm y la otra a 600 ppm de curado). La densidad de riego de todas las columnas fue de 11 L/(h-m²), con lo que se logró una extracción de Au de 60.61%, 64.79%, 60.59% y 64.11%, respectivamente. De las pruebas realizadas se concluyó que GoldMax lixivía de manera similar al NaCN, lo que lo convierte en un reactivo alternativo para optimizar los costos de extracción de oro, además de ser más amigable con el medio ambiente.

Molina (2021) En su trabajo de investigación, preliminarmente utilizó un diseño experimental basado en el diseño factorial 2k con repeticiones en el centro. Las variables que considero para su optimización fueron la concentración del agente lixivante, el Ph y el tiempo de lixiviación. Los parámetros sobre los cuales se realizó la prueba de lixiviación fue la concentración de Gold Max (desde un valor bajo de 0.5 g/L hasta un valor alto de 1 g/L), y el valor de Ph desde un valor bajo de 10 hasta un alto valor de 12



y un tiempo cuyo rango está entre 24 a 48 horas. Finalmente presentó un modelo matemático del proceso de lixiviación con Gold Max. Cuando se desarrolló la optimización del proceso a través del diseño experimental, la recuperación de oro en solución alcanzó hasta el 95.5% utilizando Gold Max a una concentración de 0.5 g/L, Ph 12 y un tiempo de 48 horas de lixiviación. El extractante de oro Gold Max tiene un valor de disolución similar a la extracción utilizando cianuro de sodio. El porcentaje de disolución que obtuvo en su estudio está en el rango esperado de 95% a 99%.

Merizalde y Vivanco (2020) en su estudio evaluaron el proceso de recuperación de mineral de oro mediante la aplicación de la solución GoldMax como reemplazo del cianuro de sodio en la lixiviación agitada de oro a escala de laboratorio. Determinaron las variables operativas óptimas para el proceso utilizando el reactivo GoldMax y las compararon con cianuro de sodio para determinar la eficiencia de recuperación de Au de cada reactivo en las mismas condiciones, obtuvieron los siguientes resultados de 79.96% y 83.06%, respectivamente; todo esto bajo las siguientes condiciones: densidad de pulpa 1.2 g/ML, 600 ppm y 60 h, el porcentaje de recuperación de cianuro de sodio fue mayor que la lixiviación GoldMax, pero el costo de los insumos fue mayor.

El rendimiento con GoldMax fue un 3.1% menor que con cianuro de sodio. De esto se puede concluir que el reactivo GoldMax no está lejos de ser considerado como una buena alternativa de reemplazar al cianuro debido a sus propiedades de ser un reactivo amigable con el medio ambiente y bajo consumo de agentes alcalinos.

Arapa (2019), en su tesis sobre lixiviación ecológica de minerales de oro a partir de reactivos GoldMax para minería artesanal, llegó a la siguiente conclusión: Al desarrollar la optimización de procesos a través del diseño experimental, el oro en solución alcanzó una tasa de recuperación de hasta 97.70% , todo esto al trabajar con



una concentración de cianuro de 1.0 g/litro, Ph 12 y tiempo de lixiviación 48 horas. Cuando se desarrolló la optimización del proceso a través del diseño experimental, la recuperación de oro en solución alcanzó hasta el 95.5% utilizando el reactivo Gold Max, con una concentración de 0,5 g/L, Ph 12 y un tiempo de lixiviación de 48 horas. Sin embargo, la mayor eficiencia en la lixiviación de un mineral de oro de la empresa minera Jordan se logró utilizando reactivos de cianuro. Se observa que el agente de extracción Gold Max proporciona una eficiencia de disolución similar a la extracción con cianuro de sodio. La capacidad de disolución se encuentra dentro del rango proyectado de aproximadamente 95% a 99%.

Chuquilin y Rengifo (2019) Su estudio se realizó utilizando una muestra representativa de 200 kg de minerales oxidados recolectados en Huancajunga, Sayapullo, provincia de Gran Chimú-La Libertad. Los resultados mineralógicos de las muestras mostraron una asociación mineralógica con oro y plata en cuarzo y la presencia de areniscas calcáreas y lutitas férricas con limonita. También se observó una pequeña cantidad de pirita con un tamaño de partícula muy fino (aproximadamente -200 mallas), e incluso cuando los datos se evaluaron mediante tamizado, se encontró que este mineral tenía una distribución de tamaño de partícula fina de $p_{80} = 1.2$ pulgadas. El contenido de oro es de 7 g/TM y el contenido de plata es de 20 g/TM. El consumo de cal para la prueba de alcalinidad fue de 3.0 kg por tonelada de mineral. Las pruebas se realizaron utilizando tres dosis de agente lixivante a una concentración de 500 ppm con un tamaño de partícula de 100% -1/4 de pulgada. Los resultados que obtuvieron fueron, el rendimiento promedio durante 7 días de lixiviación utilizando cianuro de sodio (NaCN) alcanzó 80.91%. En contraste, es evidente que la columna que utilizó el reactivo de lixiviación Goldmax solo alcanzó un rendimiento del 74.29% y la columna que utilizó el reactivo Sandioss alcanzó el 80.91%. 65.29%.



2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Lixiviación de oro y plata por cianuración

En la minería de oro y plata, la lixiviación con cianuro de sodio es la disolución de estos metales o sus minerales en una solución alcalina de cianuro de sodio. El mayor interés en este proceso es la reacción de disolución selectiva del oro y la plata en una solución acuosa formando complejos metálicos (Cárdenas, 1994).

El cianuro de sodio tiene la capacidad de formar complejos estables con el oro y la plata utilizados en el proceso de extracción. Este proceso de lixiviación se utiliza debido a su costo relativamente bajo y alta eficiencia para disolver estos metales preciosos. El oxidante comúnmente utilizado en la lixiviación con cianuro de sodio es el oxígeno del aire, el cual contribuye a la economía de este proceso (Misari, 2010).

2.2.2. Minerales oxidados de oro

En el caso de estos minerales, el material mineral se encuentra en forma oxidada. El grado de liberación de oro aumenta con el grado de oxidación. Por ejemplo, los óxidos de hierro como la hematita, la magnetita, la limonita y la goethita son minerales que se oxidan con mayor frecuencia.

2.2.3. Método de lixiviación por agitación

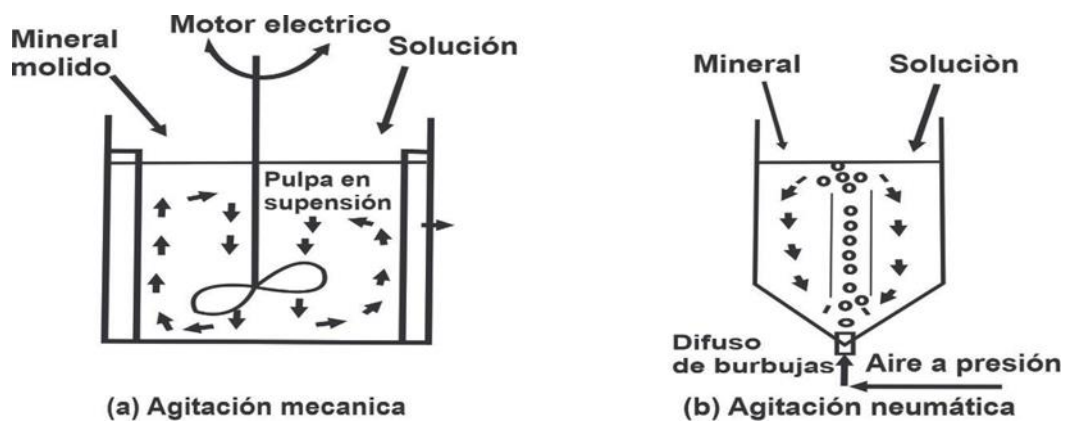
Uno de los principales métodos de lixiviación usados en la actualidad es la Lixiviación por Agitación y para ello se requiere que el mineral debe estar finamente molido, solo se usa para minerales frescos de alta ley donde el

contenido de alto valor justifica la molienda húmeda, a cambio de mayores tasas de recuperación y tiempos de procesamiento más cortos.

Así se aumentan en el área expuesta a la lixiviación y a la agitación permite disminuir el espesor de la capa limitante de difusión, al mismo tiempo que se maximiza el área de la interfase gas-líquido (Suero, 2018).

Figura 1.

Equipo para lixiviación por agitación.



Fuente: (Cáceres, 2016).

2.2.4. Cianuración Dinámica o Agitación

Los procesos de Cianuración dinámica o agitación son empleados generalmente para minerales de oro de alta ley (> 1 oz Au/TC), donde el costo de operación es elevado, debido a que se emplean etapas de Chancado, Molienda y Agitación, incrementándose el consumo energético a niveles donde puede resultar antieconómico para leyes bajas de oro (Misari, 2010).

Los tanques agitadores pueden ser mecánicos o neumáticos, un estudio adicional indicaría la selección del tanque agitador. En la actualidad se recomienda el uso de los tanques agitadores mecánicos para producir una agitación más eficiente que los neumáticos (Misari, 2010).



2.2.5. Alternativas de agente lixivante para la extracción de Oro

2.2.5.1. Cianuro

El método de extracción de oro más famoso en el mundo de la metalurgia es la cianuración. Tiene importantes ventajas sobre otros procesos ya que es barato y sencillo. La cianuración de materiales refractarios de oro requiere un paso de pre calcinación, biooxidación o preoxidación alcalina, ya que el procesamiento del oro encapsulado en una matriz de sulfuro es altamente complejo. El cianuro puede considerarse uno de los agentes de lixiviación básicos para la recuperación de oro, lo que indica que el agente de lixiviación son los iones CN, independientemente del mineral que se esté procesando. Se utiliza en soluciones diluidas de 100 a 500 ppm, pero normalmente se utilizan cantidades mayores durante la lixiviación para mejorar la recuperación de minerales y al mismo tiempo mantener la alcalinidad de 11.

Según Bodlaender la reacción de la cianuración es:



Existen diferentes tipos de sales de cianuro que por su particularidad de ser solubles en el agua se las puede usar como agentes lixivante en la extracción de oro, entre esas sales tenemos el cianuro de potasio (KCN) y el cianuro de sodio (NaCN) (Birich et al., 2019).

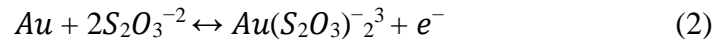
2.2.5.2. Tiosulfato de amonio

El tiosulfato al igual que el cianuro es uno de los más usados en los últimos años en la extracción de minerales preciosos como oro y plata, se



lo utiliza en soluciones amoniacaes con una disolución rápida entre 3 a 4 horas obteniendo una mejor recuperación que con cianuro dependiendo del mineral a tratar (Akcil *et al.*, 2015). Este agente lixivante tiene la propiedad de acomplejar oro y plata, la presencia de cobre y amoniaco mejora el proceso de recuperación de oro logrando mayores velocidades de lixiviación (Layme, 2015). Sin embargo, su aplicación industrial no es muy comprendida actualmente, el alto consumo de tiosulfato y el oro pasivo dificultan el desarrollo y la aplicación de la tecnología (Liu *et al.*, 2017). Este reactivo es metaestable y se descompone con facilidad a sulfato causados por una serie de especies de oxígeno-azufre y sulfuros por lo que no es posible ser reutilizado (Arapa, 2019).

La reacción de la disolución del oro está dada por:



La presencia de amoniaco en la lixiviación de oro con tiosulfato es muy importante, ya que este evita que el tiosulfato se descomponga formando una capa de azufre en toda la superficie del mineral provocando que el oro no reaccione con el lixivante (Mohammadi *et al.*, 2017). Según un estudio realizado sobre la lixiviación de oro con tiosulfato, la cinética de este proceso sigue siendo significativamente menor con respecto a la cianuración, por lo que en el campo de la hidrometalurgia se sigue investigado el uso de nuevos y mejorados agentes lixivante y factores que afecten el proceso (Sitando *et al.*, 2020).



2.2.5.3. Tiourea

Es considerado el reactivo con potencial alto para sustituir al cianuro con factores bajos de toxicidad y la facilidad de emplear en medio ácido, debido a los trabajos realizados en laboratorios y plantas pilotos, han permitido a la tiourea a determinar ciertas características dándole preferencia ante el cianuro (Akciil *et al.*, 2015). La relación que existe en la disolución de oro y plata con tiourea da paso a la formación de cationes complejos conocidos como tioureatos lo cual se debe a la acción del disulfuro de formamidina, este compuesto es considerado como el oxidante activo para la disolución de metales (Carrillo *et al.*, 2014). La dosis letal de tiourea es de 10g/kg, por lo que se considera mucho más segura que el cianuro (Santamaría *et al.*, 2013).

La reacción de disolución para la formación del complejo catiónico está representada por:



La lixiviación con tiourea se considera una mejor alternativa para tratar minerales de oro sulfurosos refractarios, después del proceso de biooxidación no es necesario neutralizar (Guo *et al.*, 2017). Existen agentes oxidantes que permiten que la velocidad de reacción de la tiourea aumente y sea más efectiva como ión férrico, ozono, peróxido de hidrógeno o permanganato de potasio (Olyaei *et al.*, 2019).



2.2.5.4. Tiocianato

En la investigación que realizó *Ali et al.* con respecto a la extracción de oro usando tiocianato (NH_4SCN), demostró que la extracción depende fundamentalmente de la concentración disponible de tiocianato de amonio libre permitiendo una mayor lixiviación del mineral (*Ali et al.*, 2018). El tiocianato al reaccionar con Au^+ puede formar complejos solubles en agua según el sistema dinámico del tiocianato, el cual puede regenerarse como un subproducto (*Ma et al.*, 2015). Al igual que los otros agentes lixiviantes existen factores que pueden afectar al momento de extraer oro como: la relación líquido-sólido, la concentración del lixiviante y oxidantes, temperatura y tiempo (*Ma et al.*, 2015).

2.2.5.5. Cloruros

La cinética de lixiviación del cloruro es más rápida que la del cianuro, debido a varios parámetros que favorecen esta reacción como son: bajo pH, alta concentración de Cl^-/Cl_2 , aumento de temperatura y una gran superficie del mineral lo cual permite una mejor eficiencia del reactivo (*Ahtiainen y Lundström*, 2019). Los complejos de cloruro son inestables en comparación con otros agentes, una forma de reducir su inestabilidad es manteniendo un pH adecuado en la solución y el potencial en el que reacciona cada componente (*Ahtiainen et al.*, 2018). Para soluciones de $FeCl_3$ el aumento en la concentración de la solución y la temperatura aceleran de velocidad disolución de oro, la acidez de la solución $FeCl_3$ de no posee una relación evidente en la disolución de oro (*Seisko et al.*, 2018).



2.2.5.6. GoldMax

Considerado un logro científico y tecnológico, GoldMax es fabricado con materia prima utilizada en fertilizantes, es un producto innovador dentro de la metalurgia el cual debido a sus características es considerado ecológico (Royal Chemical del Perú S.A.C, 2015). Es un agente lixivante que permite extraer oro y plata por lo que se lo ha planteado como una alternativa al cianuro para hacer frente a la contaminación. Se han realizados varias pruebas que garanticen su funcionamiento y eficiencia dando como resultado recuperaciones altas de Au y Ag en minerales sulfuros, oxidados y mixtos (Royal Chemical del Perú S.A.C, 2015).

Este reactivo fue desarrollado y producido por Royal Chemical del Perú ofreciendo ventajas superiores a otros agentes lixivante, teniendo una gran acogida por parte de las empresas del mercado sudamericano (Mendo, 2016). Debe ser almacenado en lugares donde no le dé la luz solar y sin humedad, puede mantenerse por largos periodos sin alterarse ni sufrir al efecto de descomposición.

2.2.5.7. Sandioss

Este reactivo se desarrolló en China, dándolo a conocer como un producto ecológico para ser utilizado como agente lixivante, así sustituir el cianuro y minimizar los gastos que se invierten en tratamientos de efluentes(Mendo, 2016). La presentación de Sandioss es en polvo granulado blanco o gris, sus soluciones acuosas pueden ser alcalinas, ácidas o neutras; teniendo en cuenta el tipo de material con el que se trabaje



(Huaco, 2017). Este reactivo no es inflamable, ni explosivo, no emana radiactividad, no tiene peligro oxidante, tampoco es peligroso al ser transportado, debe ser almacenado en lugar sin humedad y lejos de la luz solar (Padierna y Zegarra, 2016). Se considera una mejor lixiviación cuando la temperatura del ambiente es mayor a 10°C. Entre los componentes del Sandioss encontramos los Ferrocianuros, los cuales permiten la factibilidad a la lixiviación a un determinado porcentaje(Dávila *et al.*, 2018).

2.2.6. Tipos de procesos de cianuración

La cianuración de minerales de oro se produce de dos formas: dinámica y estática.

El método óptimo para un mineral en particular depende de una variedad de factores económicos y técnicos, incluido el tonelaje a procesar, las propiedades físicas y mineralógicas del mineral, la ley y las reservas del depósito, y el tipo y cantidad de minerales involucrados, así como también existen costos de instalación y operación.

Tabla 1.*Principales parámetros del método de cianuración de mineral del oro.*

Parámetros	Métodos de lixiviación por cianuro		
	Estáticos		Dinámicos
	En pilas	En piscinas	Por agitación
Ley del mineral	Baja - media. Ej. 0,03 oz/t	Baja - media	Alta
Tonelaje	Grande. Ej. 5000 t a 2000 t	Mediano (100 t -2 000 t)	Amplio rango
Inversión	Media	Media a alta	Alta
Granulometría	Trituración gruesa a media	Trituración media a fina	Molienda fina
Concentración de cianuro (NaCN)	0,5 - 1,0 g/L	0,3 - 1,0 g/L	0,5 - 1,0 g/L
Flujo de solución	0,1 - 1 L/m ² /min	Ciclos de inundación	
Recuperación típica	50 - 75 %	75 - 92 %	90 - 99 %
Tiempo de tratamiento	Días - semanas	Días - semanas	Horas - días
Soluciones	Diluidas, 0,34-3,4 mgAu/L	Diluidas	Concentrada
Procesos de recuperación	Merrill Crowe CIC	Merrill Crowe CIC	Merrill Crowe CIP, CIL
Problemas principales	Recuperación incompleta Requiere grandes áreas Canalizaciones Bloqueo por finos Precipitaciones Evaporación Soluciones diluidas	Molienda Recuperación incompleta Soluciones diluidas Costo de capital y operación	Molienda Lavado en contracorriente Sedimentación y filtración Inversión alta

Fuente: (Marsden & House, 2006)

2.2.7. Reactivo alternativo GoldMax

Gold MAX es un producto formulado de forma innovadora elaborado a partir de materias primas puras y utilizado en la producción de fertilizantes y es un agente de lixiviación respetuoso con el medio ambiente.

Este extractante de oro reemplaza el uso del tradicional cianuro de sodio (NaCN), que es altamente tóxico y generalmente se considera el único agente lixivante para Au-Ag, y se analiza desde una perspectiva diferente con este nuevo producto.

Este producto representa logros científicos y tecnológicos logrados a través de muchos años de esfuerzos e investigaciones por parte de expertos e instituciones de investigación científica.



Gold MAX tiene una toxicidad muy baja y ayuda a proteger el medio ambiente. Además de una perfecta aplicación en el proceso Merrill Crowe, también se puede aplicar en lixiviación en tanques, procesos de lixiviación CIP y CIL, así como molienda sin mayores inconvenientes. Como sabemos actualmente, el 85% del oro que se produce a nivel mundial se obtiene haciendo uso del proceso de cianuración.

Para combatir la contaminación causada por productos altamente tóxicos como el cianuro, recientemente investigadores profesionales de conocidas empresas extranjeras han comenzado a buscar productos de extracción de oro que no utilicen cianuro y sean menos tóxicos o, si es posible, están realizando numerosos experimentos y la investigación llegan a determinar que el GoldMax no es tóxico, pero hasta el momento no se han logrado avances. El extractante de oro Gold MAX se propone actualmente como solución definitiva a este problema. Esto proporciona al sector minero un agente lixivante eficaz y de bajo consumo que permite altas recuperaciones de oro, muy similares a las que se logran con cianuro, a precios de fabricación razonables.

Gold MAX Gold Extractant se ha sometido a todas las pruebas pertinentes para garantizar la plena funcionalidad y eficacia del producto. Se llevaron a cabo exhaustivas pruebas con todo tipo de minerales y en todas las condiciones para garantizar altos rendimientos de Au-Ag tanto en minerales oxidados como en sulfuros y mezclas.

2.2.8. Mecanismo de lixiviación

Gold MAX, Agente de extracción de oro, es aplicable en minerales de óxido de oro y plata, mineral de sulfuro, relaves de mineral, puede aplicarse en

lixiviación en pilas (Heap Leaching, Vat Leaching), Lixiviación en pozas de inmersión, (lixiviación agitación CIP – CIL) y el proceso es idéntico a la producción cuando se usa cianuro de sodio.

2.2.9. Efecto de las diferentes variables del proceso

2.2.9.1. Efecto de la Concentración

La disolución de oro en una solución Gold Max incrementa linealmente con la concentración de Gold Max hasta que se alcanza o se produce un valor máximo. Sin embargo más allá del valor máximo, nuevos aumentos no aumentarán la cantidad de oro disuelto, sino que, por el contrario, provocarán un ligero retraso.

Gold MAX es un producto que lixivia selectivamente Fe y Cu, a diferencia del NaCN, etc. Además, el costo es muy competitivo comparado con el cianuro, lo que facilita la decisión de cambiar rápidamente de reactivo.

Tabla 2.

Componentes de GoldMax

Componente	CAS Numero	Aproximado por Peso (%)
Oxido de sodio (Na ₂ O)	1313-59-3	35-50 %
Nitrógeno (N)	7727-37-9	12-20%
Amonio (NH ₄)	14798-03-9	7-12%
Humedad (H ₂ O)	7732-18-5	1-4%
Calcio (Ca)	7440-70-2	1-5%
Hierro (Fe)	7439-89-6	1-5%
Substancia insoluble en agua		3-8%

Fuente: Royal Chemical

Tabla 3.

Elementos del agente de extracción Gold Max

Elemento	CAS Número	Contenido (%)
C	12069-90-8	22.04
Na	100894-64-2	38.30
N	14914-35-3	15.20
O	17778-80-2	22.92
Fe	14092-79-6	0.96
Cl	24934-91-6	0.36

Fuente: Lixivian E.I.R.L.

2.2.9.2. Efecto del pH

La lixiviación con Gold MAX procede de manera eficiente a pH = 11-12, tiene una alta tasa de lixiviación por unidad de tiempo y el rendimiento es muy estable y confiable, lo que resulta en tiempos de extracción (tasas de reacción) rápidos.

2.2.10. Parámetros de control

2.2.10.1. Concentración

Para elegir la mejor fuerza de lixiviación, se debe realizar pruebas o evaluaciones a una concentración de 0.5, 0.6, 0.8, 1 y 1.2 g/l para evitar su consumo excesivo y lixiviación de contaminantes.

Para determinar la fuerza del lixivante libre se debe realizar un proceso de titulación y se deben considerar los siguientes parámetros:

Cantidad de uso	25 ml
Titulante para usar	Nitrato de plata.
Concentración de titulante	4.33 g/l
Indicadores de uso	yoduro de potasio.
Concentración del indicador	5%



2.2.10.2. pH

El valor de pH óptimo para la operación es 11-12. El pH se puede medir con papel indicador de pH o con un medidor de pH digital. El valor del pH se puede ajustar añadiendo cal o soda cáustica.

2.2.11. Lixivante Gold MAX

Según Royal Chemical Perú (2016), la lixiviación con Gold Max es una nueva alternativa al cianuro ya que es un reactivo que lixivia selectivamente oro con resultados prometedores y no contiene componentes nocivos que tengan un impacto significativo en el medio ambiente. Para cumplir con los estándares, se ha estado trabajando en alternativas más sustentables. Entonces hay alternativas. El agente lixivante Gold Max es un producto ecológico que permite la disolución del oro y tiene el potencial de reemplazar al agente lixivante tradicional como es el cianuro de sodio. (NaCN).

Este producto innovador Desarrollado y fabricado por Royal Chemical Company del Perú, tiende a ofrecer más beneficios operativos y ambientales en comparación con otros productos actualmente disponibles en el mercado. Gold Max es un reactivo similar utilizado en la lixiviación con cianuro, ya que es similar en principio y puede usarse como agente de lixiviación para minerales valiosos en procesos y operaciones metalúrgicas.

En este contexto entra en juego GOLDMAX. Se trata de un nuevo agente de lixiviación de oro y otros metales, innovador y respetuoso con el medio ambiente, que sustituye al tradicional cianuro de sodio tóxico (NaCN), de complejo uso y temido por el público.



El extractante de oro GOLDMAX se puede aplicar a minerales oxidados de oro y plata, minerales de sulfuro, relaves de mineral, se usa en lixiviación en pilas (lixiviación en pilas, lixiviación a tope), lixiviación en estanques - tanques de inmersión (CIP-). lixiviación agitada CIL) y el proceso es el mismo que para la producción usando cianuro de sodio.

Actualmente se ha propuesto un extractante de oro, GOLDMAX, como solución definitiva a este problema. Esto proporciona a la industria minera de forma asequible un agente lixivante eficaz y de bajo consumo que permite altas recuperaciones de oro muy similares a las obtenidas con cianuro, y es apto para su uso de forma rentable.

2.2.12. Ventajas del reactivo GoldMax

Respetuoso con el medio ambiente y de baja toxicidad.

Producto químico general, no es inflamable, no es explosivo, no es oxidante, no es radiactivo, de baja toxicidad, respetuosos con el medio ambiente y seguros.

Según Royal Chemical Perú (2016), el relave del proceso de lixiviación con Gold Max, ésta posee componentes amigables con el medio ambiente urea y fosfato.

- Amplia gama de aplicaciones.

Según Royal Chemical Perú (2016), Gold Max se puede aplicar a todo tipo de minerales sin distinción, ya sean óxidos, sulfuros o sustancias mixtas. A este reactivo se le realizaron 377 pruebas, demostrando su eficiencia para extraer oro en menos tiempo y en condiciones adversas.



- Rendimiento estable.
- Alta tasa de lixiviación.
- Reducción del tiempo de lixiviación.
- Bajo costo.
- Transporte.

El proceso y el equipo son los mismos que los de la cianuración, pero es más fácil de usar y más rápido.

Según Royal Chemical Perú (2016), Gold Max es fácilmente transportable ya que es de libre disponibilidad, no está sujeto a controles, pruebas ni aprobaciones, y no requiere ningún medio de transporte especial, por lo que no es un producto altamente peligroso y tóxico.

2.2.13. Consideraciones en prueba industrial

2.2.13.1. Prueba industrial en tanques

Si la prueba se realiza a escala industrial, no es necesario triturar los reactivos. Es suficiente alimentar el producto en solución al molino junto con los minerales.

1. GOLDMAX se debe agitar bien para formar una solución hasta su completa disolución. Para esta preparación recomendamos añadir (30 kg de Goldmax / 500 litros de agua en un depósito específico). Esta es una solución que se alimenta continuamente al molino. El pH más adecuado es 12.
2. Controlar el consumo de reactivo GOLDMAX. El pH se debe fijar en la salida del molino, en el rebosadero del hidrociclón y en la salida de cada tanque. La densidad de la pulpa en el tanque es la habitual (1300-1350 g



por litro de pulpa) y la velocidad de rotación es en rpm según el sistema habitual. La aireación, como se aplica comúnmente en los sistemas de cianuración, es muy útil para utilizar el oxígeno del aire. C.I.P.

3. La titulación de AgNO_3 (4.33 g/L), se debe hacer con yoduro de potasio al 5% como indicador (3 gotas en alícuota de 25 ml), de color blanco lechoso.

Es necesario mantener el pH 12 durante todo el proceso.

2.2.13.2. Prueba industrial - minero artesanal (Sistema de Pozas)

Este procedimiento se aplica a todos los minerales y residuos de oro (Au-Ag). Continúe moliendo el mineral como de costumbre.

1. Triturar en seco el mineral hasta que esté finamente dividido como de costumbre.
2. Continuar la aglomeración mecánica o manual de minerales con cal y cemento. También se añade GOLDMAX, pero previamente disuelto a razón de 0.5 g/L en una solución pH 12. Una vez finalizado este proceso, los minerales aglomerados frescos se colocan en una piscina de cemento o geomembrana (también se puede utilizar plástico) y se dejan endurecer hasta que los pellets tengan una consistencia (dureza).
3. Luego enjuague inundando o rociando con una concentración inferior a 0.5 g/L para obtener una solución rica como de costumbre.
4. Finalmente regenerar con método de carbón vegetal o polvo de zinc.

Consideraciones:

Las etapas de floculación y curado son importantes porque si el producto se usa simplemente vertiéndolo en un estanque, no se lixiviará



bien con los minerales y la tasa de recuperación será baja. La cohesión y el curado son las claves del éxito. Recomendamos mezclar 18 kg de cemento y 12 kg de cal. La humedad es del 20% (solución GOLDMAX 0.5 g/L) por tonelada de minerales triturados.

2.2.14. Diseño Experimental

El diseño experimental juega un papel importante cuando se trata de optimización de procesos. La preparación adecuada es importante para obtener datos críticos que coincidan con los requisitos previos de las pruebas que se realizan.

La planificación de un diseño experimental se lleva de manera ordenada y precisa, según la literatura existen varios ejemplos de experimentos que no se dieron como se esperaba, debido al descuido o el poco interés en el modelo estadístico de sus proyectos (Egan et al., 2016). Las preguntas que se desea responder son: Para qué, por qué, cómo, cuándo y dónde se va a realizar el experimento, es importante que el diseño sea simple. La manera más eficiente y eficaz de realizar pruebas de un proceso es un diseño experimental, demostrando una serie de pasos a seguir para lograr determinar cuántas pruebas se deben ejecutar (Huaco Condori, 2017), permitiéndonos de la misma forma obtener el orden en el que se va a realizar cada prueba.

2.2.14.1. Ventajas y desventajas del Diseño Experimental

Ventajas: El diseño experimental permite controlar y manipular las variables en estudio y también permite conocer las interacciones entre los diversos factores en estudio. La investigación y la estadística nos



permiten analizar e interpretar cada paso o secuencia de un programa (Huaco, 2017). Proporciona alternativas hostiles y garantiza una planificación anticipada sistemática que permita una implementación ordenada y gradual. Se debe prestar atención a la interrelación, estimación y cuantificación de las fuentes de variación en los resultados obtenidos.

Desventajas: El diseño y el análisis a menudo implican descripciones basadas en terminología estadística. Estos diseños son económicamente complejos, complejos de usar y requieren mucho tiempo.

2.2.14.2. Etapas del Diseño Experimental

Para poder preparar las condiciones de prueba y control, es necesario realizar un diseño experimental evitando que el experimento obtenga resultados erróneos (Chok *et al.*, 2005).

La manera correcta de ejecutar pruebas a un proceso es mediante un diseño experimental, para ello existen etapas que permiten elaborar de manera correcta y sistemática un diseño que incluye el establecimiento del problema, variable independiente, factores, niveles, ejecución del experimento e interpretación de los análisis estadísticos (Montgomery & Verbeeck, 2004).

2.2.15. Diseño Factorial

Dentro de este dominio se encuentran las investigaciones con múltiples factores que ocurre dentro de las experimentaciones, es decir, cuando un resultado depende de varios factores que deben ser evaluados en diferentes niveles y así obtener mejores resultados (Chok *et al.*, 2005). Una vez definida los factores y

niveles se determina los tratamientos necesarios para realizar cada prueba experimental.

2.2.15.1. Diseño Factorial 2^K

Este diseño considera un diseño experimental de primer orden y se define por las posibles combinaciones que permiten examinar los factores K en un diseño de factoriales. Este diseño es muy fácil de realizar ya que proporciona la cantidad mínima de experimentos permitidos. Considere que el número correspondiente de experimentos realizados está definido por la siguiente ecuación:

$$N = 2^K \quad (4)$$

Donde:

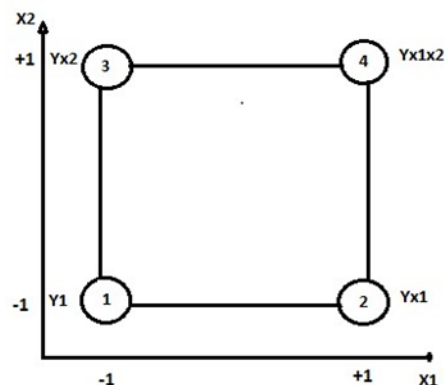
K: número de factores a estudiar

N: número de experimentos

Se observa en la Figura 2 los Niveles para un diseño factorial 2^K en un sistema de coordenada bidimensional.

Figura 2.

Niveles: Diseño Factorial 2^k



Fuente: (Montgomery & Verbeeck, 2004)

Donde:

$K= 2$; $X_1= 1$; $X_2= 2$; $Y=$ variable respuesta; $+1=$ nivel superior de la variable, mientras que $-1=$ nivel inferior de la variable.

En la Tabla N° 4 se observa los valores de las variables a escala codificada.

Tabla 4.

Valores de las variables codificadas

N° DE PRUEBA	VALORES CODIFICADOS	RESPUESTA
1	-	- Y1
2	+	- Yx1
3	-	+ Yx2
4	+	+ Yx1x2

Fuente: (Arapa, 2019)

Se considera Y_{x1} como la variable respuesta cuando X_1 se encuentra en su nivel alto y X_2 en su nivel más bajo, mientras que Y_1 se la considera cuando X_1 y X_2 se encuentren en su nivel inferior, así mismo sucede con Y_{x1x2} la cual se la considera cuando X_1 y X_2 se encuentren en su nivel superior (Gutiérrez, 2012).

2.2.15.2. Diseño Factorial 2k con réplicas en el punto central del diseño

Se considera para este diseño, adicionar más de una réplica en el punto central, dando paso a una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos en las pruebas experimentales y así lograr una mejor consideración del efecto que da la curvatura (Escalante *et al.*, 2014).

(Mina y Mercado, 1995) Para determinar el efecto de curvatura se realiza la suma de cuadrados relacionando la diferencia entre el promedio de los puntos factoriales y centrales, denotado por:

$$SC_{curvatura} = nFn_c(Y_F - Y_c)^2 / n_F + n_c \quad (5)$$

Donde:

Y_c = Promedio de la variable respuesta en puntos centrales.

Y_F = Promedio de la variable respuesta en puntos factoriales.

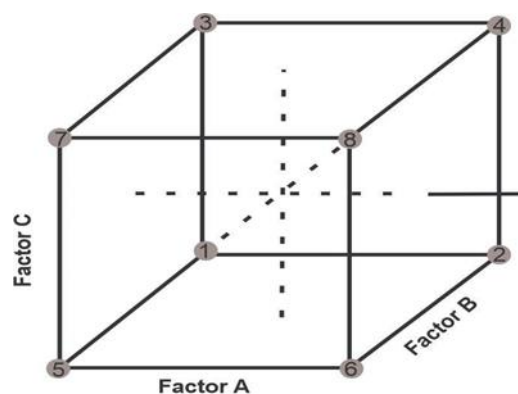
n_c, n_F = Son el número de puntos centrales y el número de puntos factoriales.

Si el valor de p es menor al 0.05, se define que al menos uno de los factores enlistados presenta ante la variable respuesta relación curva (Escalante *et al.*, 2014).

Se considera el número total de réplicas a realizar dependiendo de los recursos que posee, tomando en cuenta que las réplicas son una variedad de corridas experimentales a las mismas condiciones tanto factores como niveles (Gutiérrez, 2012).

Figura 3.

Diseño factorial para 2^k con tres factores y réplicas centrales.



Fuente: (Gutiérrez, 2012)

2.2.16. Principio de ANOVA para el diseño factorial de dos factores

El análisis de varianza permite comparar los conjuntos de resultados analíticos para definir si existe diferencia estadística significativa entre una muestra que ha sido analizada por diferentes métodos o una muestra realizada en diferentes lugares y distintos analistas (Montgomery y Verbeeck, 2004). El principio de ANOVA para un diseño factorial facilita la base de los aspectos de análisis estadístico, mediante la ayuda de la teoría estadística deriva los mecanismos para la elaboración y organización de las pruebas basadas en el modelo de respuesta (Montgomery y Verbeeck, 2004).

Tabla 5.

Las fórmulas simplificadas para calcular el estadístico F_0 hasta llegar al valor- p .

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	k-1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{M_E}$	P($F > F_0$)
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N-k	$CM_E = \frac{SC_E}{N-k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	N-1			

Fuente: (Gutiérrez, 2012)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La Empresa Minera Socsan se encuentra ubicada a 7 km al sur del distrito de Pucará, provincia de Lampa, Departamento de Puno, con las siguientes coordenadas WGS84:

Zona : 19
Hemisferio : Sur
Coordenada Este : 353289.40
Coordenada Norte : 8331811.50

Figura 4.

Ubicación geográfica del yacimiento minero Socsan



Así mismo las pruebas preliminares se han realizado en el laboratorio de CEPROMET Minera Porvenir S.A.C. ubicado en el Departamento de Arequipa, donde se determinó la gravedad específica, el análisis granulométrico y la comparación de las pruebas de lixiviación con Cianuro de Sodio y Gold Max.

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio se inició en el año 2021 y se concluyó en el año 2022.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

Para el trabajo de investigación de este proyecto se utilizó material de oro oxidado del depósito minero de Socsan, y se realizó sistemáticamente a intervalos de tiempo un muestreo aleatorio simple de la zona oxidada en diferentes puntos utilizando picos, palas y bolsas de recolección para recolectar muestras de minerales oxidados auríferos de 1200 g con tamaños aproximados de 3 y 5 pulgadas.

Figura 5.

Muestra del mineral de tipo óxido aurífero utilizado para la lixiviación.



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

El muestreo de minerales oxidados se realizó manualmente en la mina Socsan en el distrito de Pucará. El depósito se divide en tres zonas: zona de sulfuro primario, zona de sulfuro secundario y zona oxidada.

El muestreo aleatorio simple requiere seleccionar n fragmentos o unidades de un conjunto, por lo que no todas las muestras posibles del mismo tamaño se seleccionan con la misma probabilidad. De manera similar, las muestras se tomaron en intervalos temporales o espaciales variables y se distribuyeron aleatoriamente.



3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados se realizó con la ayuda del Software estadístico Minitab 19 y STATGRAPHICS Centurión XVI.I

3.6. PROCEDIMIENTO

3.6.1. Metodología

En el presente trabajo de investigación desarrollado con la finalidad de encontrar las condiciones favorables del estudio, se utilizó una investigación experimental y descriptiva.

3.6.2. Tipo de investigación

Para evaluar la tasa de extracción de oro durante la lixiviación por agitación utilizando reactivos GoldMax, se utilizó la investigación de tipo experimental, que se basan en la manipulación de variables en condiciones controladas, la reproducción de ciertos fenómenos y la observación del rango de variables involucradas y manipuladas que logran un cierto efecto.

VI:(Causa) “X”

VD (Efecto) “Y”

3.6.3. Nivel de investigación

Para desarrollar el presente trabajo de investigación se utilizó el nivel de investigación descriptivo-explicativo por las siguientes razones.

- **Descriptivo:** porque intenta o pretende identificar las principales características de uno o más fenómenos objeto de análisis y representar con precisión sus dimensiones.

- **Explicativo:** Busca o intentar determinar las causas de un evento o fenómeno que es objeto de análisis de investigación.

3.6.4. Diseño de la investigación

Se utilizó el diseño descriptivo experimental porque permite determinar la causalidad de manera más confiable. Este estudio se llevó a cabo en tres etapas:

Etapa I: Análisis granulométrico

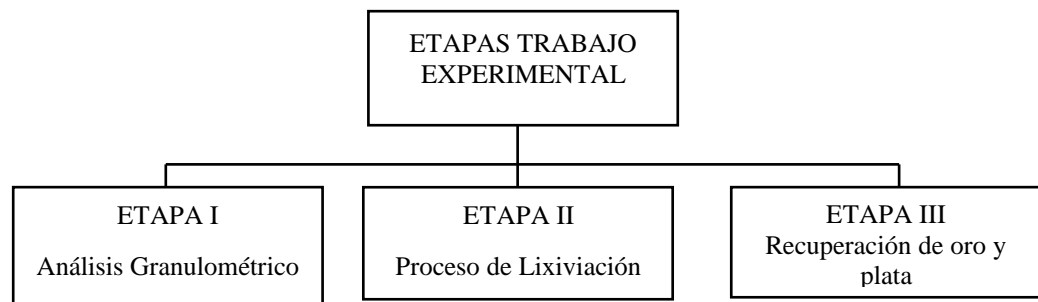
Etapa II: Proceso de lixiviación.

Etapa III: Recuperación de oro.

La actividad de investigación se propuso y diseñó para alcanzar los objetivos descritos en la siguiente figura:

Figura 6.

Etapas del trabajo experimental-descriptivo



3.6.5. Desarrollo del procedimiento de investigación

En esta etapa se desarrolló el proceso de lixiviación por agitación utilizando el reactivo GoldMax a nivel de laboratorio. Las condiciones de trabajo para evaluar este proceso de recuperación de oro con lixiviación por agitación con GoldMax se presentan en la etapa de resultados; en donde se consideró el mejor tratamiento de los que se desarrollaron para recuperar la máxima cantidad de oro.



3.6.6. Materiales y equipos

3.6.6.1. Materiales

- Malla de la serie Tyler N° 200,100
- Fiolas
- Vasos de precipitados
- Probetas
- Espátulas
- Brochas de laboratorio
- Saquillos
- Plástico grueso
- Bureta
- Pipetas
- Pissetas
- Frasco Ámbar
- Papel filtro
- Cinta blanca para rotular y lapicero

3.6.6.2. Equipos

- Balanzas
- Balanzas electrónicas de precisión
- Estufa
- Equipo de Agitación
- Multiparámetro HANNA HI98194
- Phmetro APERA PH400S



3.6.6.3. Reactivos

- GoldMax
- Cianuro de Sodio
- Yoduro de potasio (KI)
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio
- Nitrato de Plata

3.6.6.4. Pruebas de evaluación

Se realizaron pruebas de evaluación o detección para determinar diversas propiedades de los minerales, así como análisis preliminares de oro y plata de los minerales a procesar o explotar en cada etapa del proyecto, como se describe a continuación.

- **Análisis de minerales**

Este análisis se realizó con el objetivo de determinar el tipo mineralógico de los minerales del sitio minero Socsan Pucará-Puno.

- **Análisis químico de minerales**

El muestreo de minerales oxidados se realizó manualmente en la mina Socsan en el distrito de Pucará. El depósito se divide en tres zonas: zona de sulfuro primario, zona de sulfuro secundario y zona de oxidación. La determinación del mineral de cabeza o mineral fresco se realizó mediante el método de análisis de fuego de Newmont para oro, por gravimetría y análisis del oro total y análisis de soluciones que contienen oro preparadas por absorción atómica en soluciones alcalinas. En el trabajo



de investigación, se llevó a cabo sistemáticamente un muestreo aleatorio simple de la zona de oxidación en diferentes ubicaciones a intervalos de tiempo utilizando picos, palas y bolsas de recolección como herramientas, y se recolectaron 1200 gramos de minerales de aproximadamente 3 pulgadas y 5 pulgadas de tamaño. Las pruebas metalúrgicas anteriores se realizaron en CEPROMET en Arequipa.

3.6.6.5. Muestreo y preparación de muestras

Los resultados de análisis por oro del mineral muestreado del yacimiento minero SOCSAN de Pucará, evidencian variaciones entre 15 y 35 g Au / TM (para el oro).

Según el Laboratorio Químico Metalúrgico CEPROMET, los resultados de ensayos CMP-905, se observa una ley de cabeza para oro de 34.893 g Au/TM o 1.0177 oz/TC.

Tabla 6.

Descripción del uso del Mineral Preparado

Descripción del uso	Número de muestras	Peso de muestra (kg)	Peso Total de muestra (kg)
Propiedades Físicas (GE) y Dap	4	1	4
Ley de Cabeza	1	1	1
Pruebas de molienda	6	3	18
Lixiviación con Cianuro	13	1	13
Lixiviación con Gold Max	13	1	13
Total			49

Para el muestreo y preparación de muestras de minerales frescos se utilizó el método clásico de cono y cuarteo para obtener muestras



representativas para la realización de ensayos químicos, microscópicos, de caracterización física y metalúrgicos.

3.6.6.6. Determinación de propiedades físicas

Las determinaciones físicas consisten en mediciones de gravedad específica (método de fiola) o densidad real, densidad aparente (método de la probeta de ensayo) y porosidad. Los minerales frescos sometidos a caracterización o mediciones físicas se redujeron a 55% -200 m cuando se midió la gravedad y la gravedad específica, mientras que los minerales frescos pre triturados se sometieron a otra caracterización (alimento triturado).

- **Medición de la gravedad específica**

Para ello se pesa la fiola seca, luego se añaden los minerales finos secos (55% - 200 m) a la fiola, se pesa el conjunto y luego se vierte el agua hasta un nivel de enrase, agite hasta que desaparezcan las burbujas y mida el peso total. Finalmente, para calcular la gravedad específica se utilizó la siguiente fórmula:

$$G. E. = \frac{M - P}{W + M - P - S}$$

Dónde:

G.E. : Gravedad Especifica

P : Peso de la fiola (g)

M : Peso de fiola más Mineral (g)

W : Peso de fiola más agua (g)



S : Peso de fiola más Mineral, más Agua (g)

3.6.7. Determinación de la densidad aparente

Se utilizó el método de la probeta para medir la densidad aparente y los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

Primero se pesó una probeta con una capacidad de 1000 cm³.

Luego se llenó la muestra de mineral hasta una determinada marca de volumen y se midió el peso de este conjunto (muestra y probeta de ensayo).

Luego se midió el volumen de agua que se movía en la probeta de ensayo entre los pesos inicial y final.

Finalmente, la densidad aparente se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso de Muestra} + \text{Probeta} - (\text{Peso de Probeta})}{\text{Volumen de Agua Desplazado en la Probeta}}$$

Posterior a ello, se calculó la porosidad del mineral, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{\text{Densidad Aparente}}{\text{Densidad Real}} * 100$$

3.6.7.1. Pruebas preparación mecánica

En CEPROMET se realizaron pruebas metalúrgicas previas que incluyeron: trituración, molienda, trituración y lixiviación.

Prueba de chancado

Se partió de 150.0 kg de mineral fresco de tipo óxidos y sulfuros que ya habían sido muestreados y procesados. Se redujeron del 93.36 % -



2 pulgadas al 100 % #10 m y se estimó que el tamaño de las partículas era el 80 % de la cantidad acumulada pasante por el chancado (F80).

Prueba de molienda

Para obtener el tiempo óptimo de molienda del mineral y así lograr un tamaño de partícula del 80% - 200 mallas, se sigue lo siguiente:

- Pesar 3 kg de mineral por cada prueba de determinación del tiempo de molienda.
- Las pruebas se ejecutan en diferentes momentos de tiempo expresados en minutos.
- Retire la muestra del molino, retire el sedimento con malla -200, seque y pese la muestra retenida, registre el peso y repita el proceso para determinar los otros tiempos.

3.6.8. Pruebas de lixiviación

3.6.8.1. Pruebas preliminares

La prueba de cianuro y la prueba Gold Max se realizaron utilizando el método de agitación utilizando un tanque de 3000 ml. de Capacidad; La pulpa se preparó utilizando 1 kg de mineral y una solución que contenía lixivante y cal. En primer lugar, se realizaron dos pruebas para cada reactivo para determinar la influencia de las mediciones del tamaño de partícula en la disolución del oro y poder definir el grado óptimo de molienda y el comportamiento del mineral. El análisis químico del oro en muestras sólidas se realizó mediante copelación (método seco). El análisis del oro en solución se realizó mediante absorción atómica. El análisis de



cianuro libre se determinó mediante valoración volumétrica con nitrato de plata y yoduro de potasio. La acidez se midió utilizando papel indicador de pH Panpeha.

- **Prueba de diseño experimental**

Posteriormente se realizó un diseño factorial para determinar la influencia de tres variables: fuerza del agente lixivante, pH y tiempo. Estas variables se aplicaron con valores mínimos y máximos en base a los resultados de pruebas preliminares. En el montaje experimental se realizaron 8 pruebas y 3 repeticiones en el centro, para un total de 11 pruebas con cianuro y 11 pruebas con Goldmáx, manteniendo el método de agitación y sus parámetros específicos fijos de las pruebas preliminares.

3.6.8.2. Procedimiento experimental

- **Lixiviación con GoldMax**

Las pruebas realizadas con el agente lixivante GoldMax a diferentes parámetros de operación se determinaron de acuerdo al diseño experimental utilizado. La concentración de GoldMax a la que se realizó cada prueba se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración GoldMax} = \left(\frac{\text{Gasto de AgNO}_3 \text{ en la titulación}}{\text{factor}} \right)$$

3.6.9. Control y muestreo durante la lixiviación con GoldMax

Las pruebas de lixiviación fueron controladas mediante cuantificación volumétrica, realizándose titulaciones en diferentes momentos durante cada prueba, como se muestra a continuación.



- Se tomó una alícuota de 25 ml de la muestra cada 3 h después del inicio del experimento, y esto se hizo después de cada prueba.
- Se agregaron tres gotas de indicador KI de yoduro de potasio al 5% a la alícuota extraída, se agitó y se tituló con nitrato de plata al 5% ($AgNO_3$) como solución estándar.
- La titulación se completó cuando se hizo visible un color amarillo lechoso. Una vez logrado el cambio, se utiliza la ecuación de desplazamiento del agente lixivante GoldMax propuesta por Chemical Royal, todo esto para calcular el valor requerido para mantener constante la concentración del agente lixivante.
- La cantidad de GoldMax que debía reemplazarse según fuera necesario durante cada prueba se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Reposición de GoldMax} = ((\text{Gasto de } AgNO_3 \text{ en titulación}/10) - \text{Fuerza del lixivante})V_{H_2O \text{ Total}}$$

Para controlar la alcalinidad de la solución y mantenerla dentro de los parámetros fijados desde el inicio, se utilizó un medidor de pH para medir el pH.

Para mantener constante la densidad de la pulpa, se repuso el volumen de la alícuota previamente retirada y se continuó con el proceso de lixiviación.

3.6.10. Preparación de reactivos

- **Nitrato de plata ($AgNO_3$)**

Pesar 4.33 g de nitrato de plata ($AgNO_3$) en una balanza analítica. Luego poner en un vaso de precipitados de 100 ml. Agregue agua destilada aproximadamente a la mitad, agregue 4.33 g de nitrato de plata al vaso de



precipitados junto con el agua destilada y disuelva todos los nitratos. Una vez que todo esté disuelto, vierta la solución de nitrato de plata en el vial.

Lave el vaso con una pizetta hasta que no queden nitratos; luego agregue agua destilada al vial y agite bien para que toda la solución se homogeneice a un nivel sin usar un exceso de 1000 ml usando una boquilla, se recomienda usar un vial ámbar; si no está disponible, use una bolsa o tela negra para cubrir la fiola.

Después de mezclar, la solución de nitrato de plata se almacena en una botella de color ámbar para evitar la degradación por la luz.

- **Yoduro de potasio (KI) a 5%**

Pesar 5 gramos de yoduro de potasio (KI) en una balanza analítica, luego agregue agua destilada a un vaso de precipitados de 50 ml hasta aprox. a la mitad, vierta 5 gramos (KI) en el vaso de precipitados, disuelva todo el yoduro con agua destilada, luego disuelva todo, vierta la solución de yoduro de potasio en el vial.

Lave el vaso con una pizeta hasta que no quede yoduro; luego agregue agua destilada al vial y agite bien para homogeneizar toda la solución hasta que quede homogénea, no exceda los 100 ml usando una boquilla, se recomienda usar un vial ámbar; si no está disponible, use una bolsa o un paño oscuro para cubrir la fiola.

Después de mezclar, la solución de nitrato de plata se almacena en una botella de color ámbar para evitar la degradación por la luz.



3.6.10.1. Parámetros

Un parámetro de proceso es un indicador cuyo valor no se cambia o no se puede cambiar dentro del modelo matemático o físico del proceso. Suelen aparecer como constantes simples en ecuaciones matemáticas.

Tabla 7.

Parámetros de Operación en Lixiviación.

Variable	Parámetros
Capacidad de tanques de agitación	: 3.0 litros de capacidad máxima
Gravedad Especifica	: 2.711 g/cm ³
Concentración de Cianuro	: 1 g/l, 1.5 g/l y 2g/l
Concentración de Gold Max	: 0.5 g/l, 0.75 g/l y 1 g/l
pH	: 10, 11 y 12
Tiempo	: 24 horas, 36 horas y 48 horas

3.7. VARIABLES

Las variables son las siguientes:

Variable Independiente:

Lixiviación con GoldMax minerales auríferos oxidados por agitación

Variable Dependiente:

Mejorar la recuperación de oro del yacimiento minero Socsan de Pucará-Puno

3.7.1. Variables del proceso y su clasificación

Los factores limitantes para una extracción óptima de oro son:

- El tiempo de contacto al que están expuestos los minerales durante la lixiviación.



- La molienda es útil para una buena separación de las partículas de oro de la ganga.
- Contenido de sustancias que catalizan reacciones de disolución. Por ejemplo, los agentes lixiviantes consumen cianuro y oxígeno, que son elementos necesarios para reaccionar con las partículas de oro.
- Se deben considerar las variables de proceso que asumen múltiples valores o estados dentro del modelo. Las notaciones y clasificaciones utilizadas en este proceso son las siguientes:

3.7.2. Variable dependiente

Al lixiviar minerales de oro, generalmente se encuentran disponibles alternativas productivas para mediciones de eficiencia, que incluyen:

- Recuperación de metales
- Rendimiento Económico
- Eficiencia de lixiviación

En este desarrollo experimental, la eficiencia de lixiviación con cianuro y Gold Max se seleccionan como funciones objetivo para maximizar la eficiencia de lixiviación

$$F = \emptyset(x, u, h, z)$$

F: Criterio de optimización (% recuperación).

x: variable independiente (x1: concentración de agente lixivante, x2: pH, x3: tiempo).

u: variable independiente incontrolable.



h: variable independiente indirecta.

z: variable independiente desconocida.

3.7.3. Variables independientes

Estos son considerados como una variable dentro del proceso que puede tomar valores independientemente de otras variables. Por lo tanto, debe existir una variable independiente para definir una variable dependiente.

Las variables independientes se pueden dividir en las siguientes categorías:

Variables controlables

Una variable controlable o manipulable es aquella cuyo valor o estado puede medirse o controlarse independientemente de otras variables.

- Concentración de reactivo de lixiviación (g/l)
- Valor de pH
- Tiempo

Variables incontrolables

Son aquellas variables cuyo valor se puede medir, mas no controlar.

- Ley del mineral
- Humedad
- Contenido de impurezas en minerales.



CAPÍTULO IV

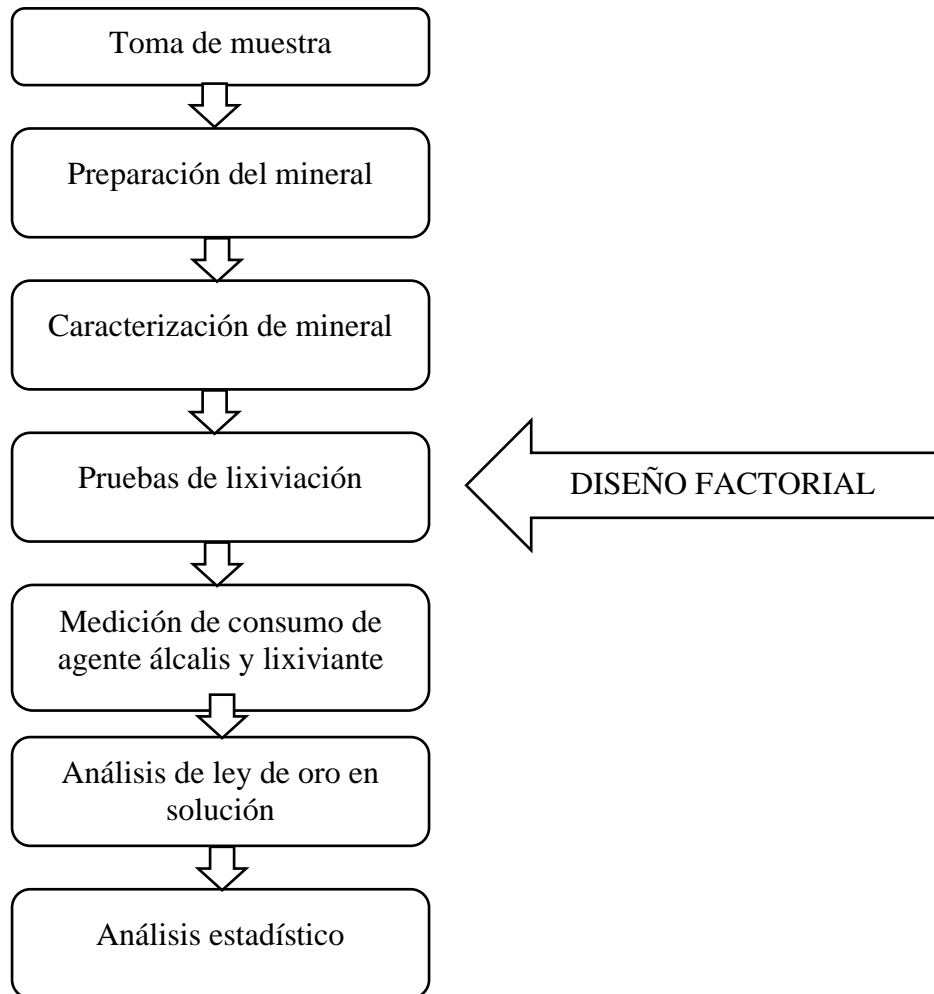
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actualmente, el proceso de lixiviación por agitación es un método que permite obtener con mayor eficiencia mayores tasas de extracción del oro presente en tamaños finos y muy finos, al ser un método dinámico. Este método utiliza agentes lixiviantes para disolver metales valiosos en condiciones de operación establecidas con el objetivo de obtener soluciones integrales como parte del trabajo de investigación, los objetivos específicos se centran en evaluar un mineral aurífero oxidado por agitación de la unidad minera Socsan considerando los efectos de la concentración de GoldMax, el pH y el tiempo de agitación en la lixiviación de un mineral de oro oxidado.

Cabe indicar que los resultados están asociados en función a los tres objetivos específicos durante la presentación de los resultados teniendo en consideración el siguiente diagrama:

Figura 7.

Etapas de desarrollo de los resultados



4.1. PRUEBAS DE EVALUACIÓN

Los resultados de la prueba de evaluación y la prueba metalúrgica se muestran a continuación.

4.1.1. Determinación de propiedades físicas

La Tabla 7 muestra los resultados de determinación de la gravedad específica o densidad real del mineral investigado.

Tabla 8.*Determinación de la gravedad específica.*

N° de Pruebas	M (g)	P (g)	W (g)	S (g)	G.E.
1°	40.190	37.270	87.037	88.869	2.684
2°	40.192	37.273	87.039	88.908	2.780
3°	40.194	37.275	87.040	88.869	2.678
4°	40.189	37.277	87.038	88.872	2.701
5°	40.245	37.275	87.041	88.915	2.710
PROMEDIO					2.711

En la tabla 7 se observa que la gravedad específica de los minerales estudiados varía entre 2.684 g/cm³ y 2.780 g/cm³, con un promedio de 2.711 g/cm³.

De la misma manera a continuación se presenta los resultados de la determinación de la densidad aparente del mineral aurífero motivo de estudio.

Tabla 9.*Determinación de densidad aparente y porosidad.*

Densidad aparente y Porosidad	
Peso de muestra + probeta (gramos)	1390
Peso de probeta (gramos)	200
Volumen ocupado (mililitros)	1000
Densidad aparente (gramos/centímetro cúbico)	1.190
Porosidad (porcentaje)	56.098

4.2. PRUEBAS DE PREPARACIÓN MECÁNICA

4.2.1. Chancado

Los resultados del análisis granulométrico del mineral de cabeza del sistema de chancado se muestran en la Tabla 9 y las medidas gráficas de la alimentación F80 se muestran en la Figura 8.

Tabla 10.

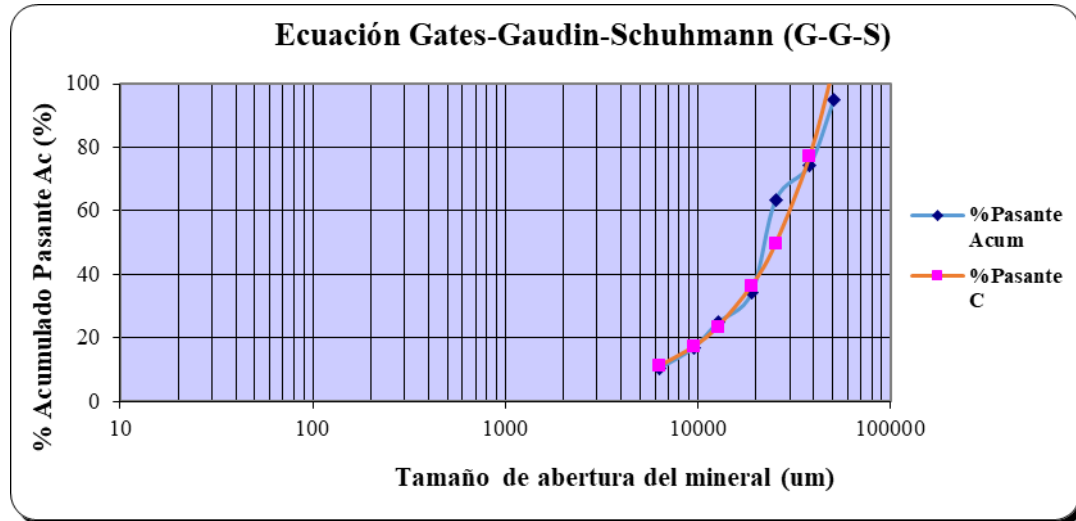
Análisis de granulometría del mineral de cabeza.

Malla N°	Abertura(um)	Peso Reten (g)	% Reten	%Reten Acum	% Pasante Acum	log(x)	log(f(x))	% Pasante C
2"	50800	2.16	5.235094523	5.235094523	94.76490548	4.7059	1.9766	105.5001
1 1/2"	38100	8.42	20.40717402	25.64226854	74.35773146	4.5809	1.8713	77.2426
1"	25400	4.55	11.02762967	36.66989821	63.33010179	4.4048	1.8016	49.7768
3/4"	19050	12.07	29.2535143	65.92341251	34.07658749	4.2799	1.5325	36.4444
1/2"	12700	3.86	9.355307804	75.27872031	24.72127969	4.1038	1.3931	23.4855
3/8"	9525	3.24	7.852641784	83.13136209	16.86863791	3.9789	1.2271	17.1951
1/4"	6350	2.67	6.471158507	89.6025206	10.3974794	3.8028	1.0169	11.0809
10	1651	2.05	4.968492487	94.57101309	5.428986912	3.2177	0.7347	2.5738
Bandeja	-1651	2.24	5.428986912	100	0			
Total		41.26						

Pendiente (m)	1.0837
Intersección (b)	-3.0766
Intersección (b)	-3.076491684
k	48351.15267
F80corr (um)	39353.3498
F(X80)	80.0000

Figura 8.

Determinación gráfica del F80 del mineral de cabeza.



La Figura 8 muestra el cálculo del valor de F80 de alimentación, donde ascendió a 39353.3498 (µm) de abertura

Los resultados del análisis granulométrico del mineral proveniente de la sección de chancado se muestran en la Tabla 10 y la medición gráfica de F80 del material chancado se muestra en la Figura 9.

Tabla 11.

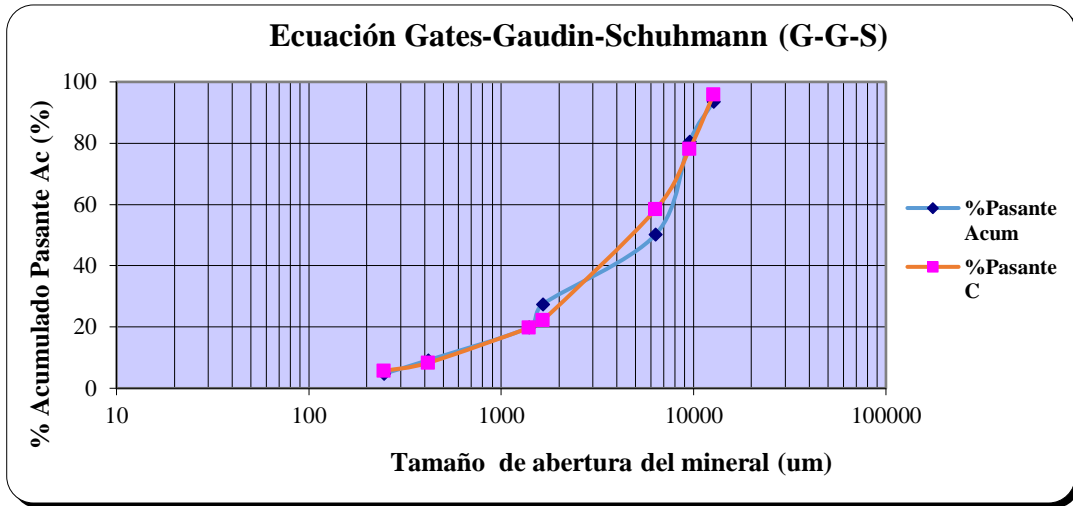
Análisis Granulométrico del Chancado.

Malla N°	Abertura (um)	Peso Reten (g)	% Reten	%Reten Acum	%Pasante Acum	log(x)	log(f(x))	% Pasante C
1/2"	12700	0.160	6.37450199	6.374501992	93.62549801	4.1038	1.9714	95.8599
3/8"	9525	0.330	13.1474104	19.52191235	80.47808765	3.9789	1.9057	78.02
1/4"	6350	0.760	30.2788845	49.80079681	50.19920319	3.8028	1.7007	58.366
10	1651	0.570	22.7091633	72.50996016	27.49003984	3.2177	1.4392	22.2535
12	1397	0.190	7.56972112	80.07968127	19.92031873	3.1452	1.2993	19.7454
35	417	0.270	10.7569721	90.83665339	9.163346614	2.6201	0.9621	8.3105
60	246	0.110	4.38247012	95.21912351	4.780876494	2.3909	0.6795	5.6959
150	104	0.060	2.39043825	97.60956175	2.390438247	2.017	0.3785	3.0756
Bandeja	-104	0.060	2.39043825	100	0			
Total		2.510						

Pendiente (m)	0.7158
Intersección (b)	-0.956
Intersección (b)	-0.955865755
k	13472.79205
P80corr (um)	9864.4030
F(X80)	80.0000

Figura 9.

Determinación gráfica del P80 del Chancado.



De la Figura 9, se observa que el cálculo del valor de F80 de chancado, ascendió a 9864.4030 (um) de abertura.

4.2.2. Molienda

4.2.2.1. Curva de tiempo de molienda

Los resultados de la curva de molienda a 200 m en un molino de 12 x 12 pulgadas se muestran en la Tabla 11 y la curva de molienda se muestra en la Figura 10.

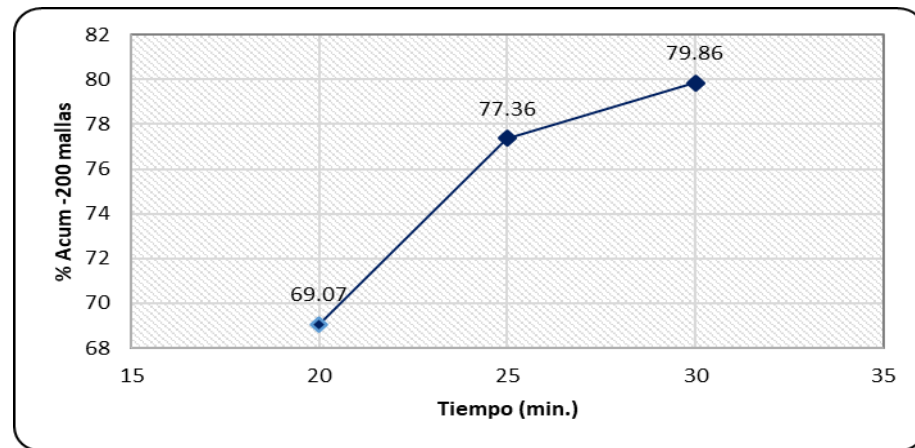
Tabla 12.

Resultados del tiempo de molienda.

Tiempo(minutos)	% -200 mallas
20	69.07
25	77.36
30	79.86

Figura 10.

Tiempo de Molienda.



4.3. PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN

4.3.1. Pruebas preliminares

- Prueba preliminar con cianuro

Los parámetros de la prueba preliminar utilizando cianuro se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13.

Resultados de las pruebas metalúrgicas preliminares con cianuro.

	Prueba N° 1	Prueba N° 2
Tiempo de lixiviación (horas)	12	48
pH (Rango de trabajo)	11	12
Peso de Mineral (Kilogramos)	1	1
Dilución (Relación Líquido Sólido)	2	2.5
Granulometría (-200 malla %)	75	80
Concentración de Cianuro (g/L)	3	2
Consumo de Cianuro de Sodio (Kg/TM)	2.55	3.15
Consumo de Cal (Kg/TM)	8.521	7.273
Extracción de oro (%)	61.83	81.15
Ley de Cabeza	34.893	34.893

Los resultados en la Tabla 12 muestran que la distribución del tamaño de partícula creada al moler el mineral es importante para poner en contacto las partículas de oro con la solución de cianuro. Así, la molienda a 80% - #200 disuelve el 81.15% del oro, esto está lejos de ser óptimo y las variables que se deben considerar en el diseño de experimentos son la concentración de cianuro, el pH y los tiempos de lixiviación

Tabla 14.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 3 g/L NaCN; 11 pH y 75% -#200

Tiempo (h)	Recuperación de Au (%)
0	0
8	44.78
12	61.83
24	68.85
36	76.73
48	80.05

Figura 11.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 3 g/L NaCN; 11 pH y 75% -#200

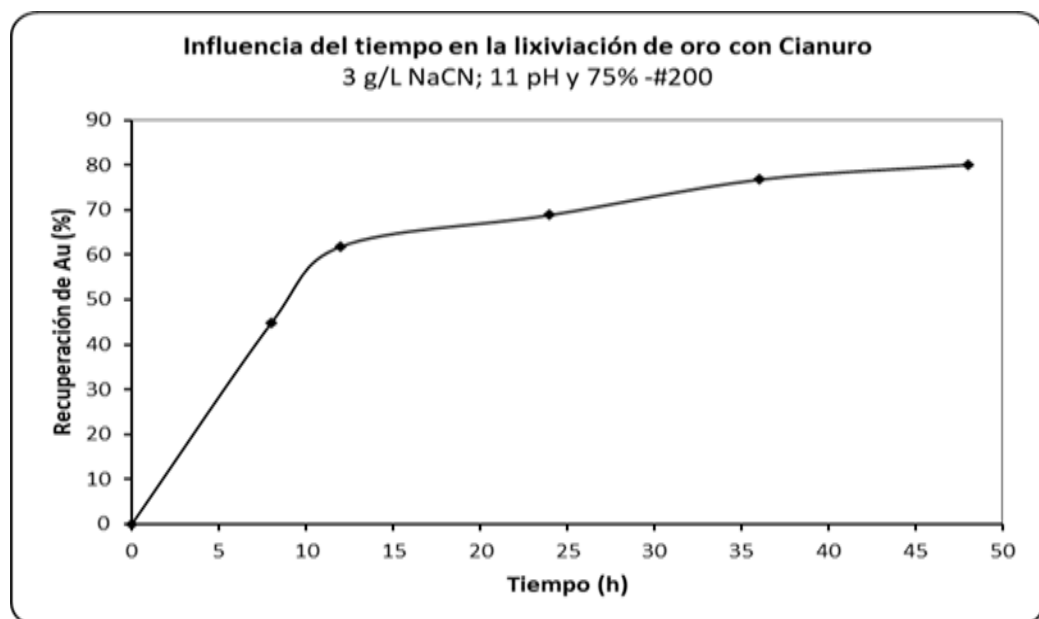


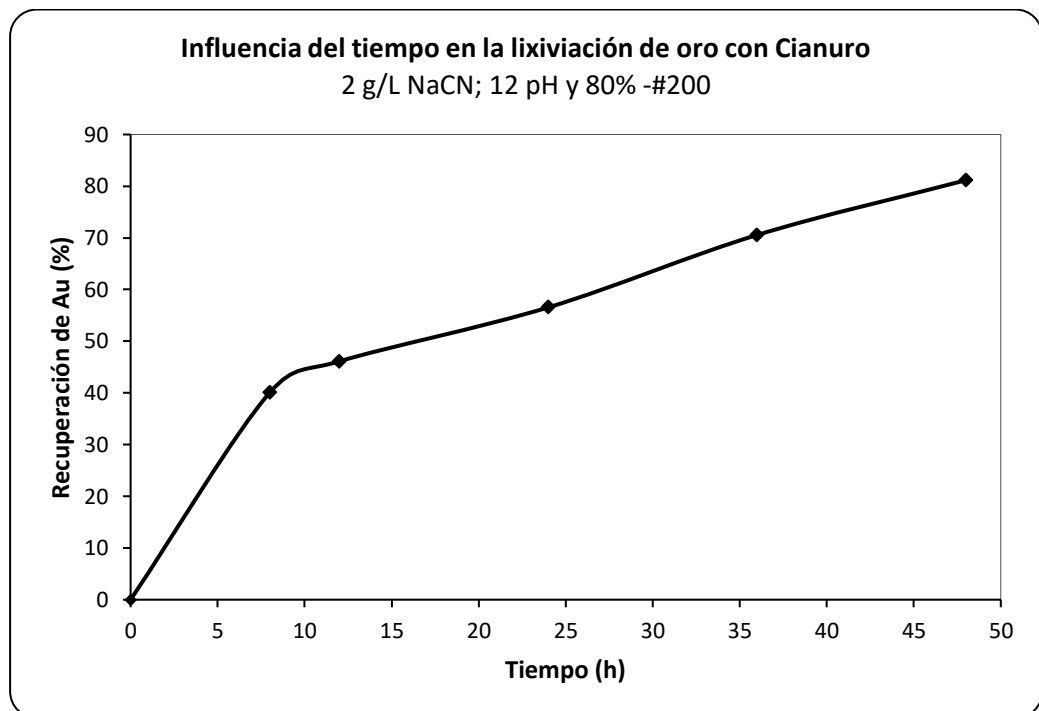
Tabla 15.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 2 g/L NaCN; 12 pH y 80% -#200

Tiempo (h)	Recuperación de Au (%)
0	0
8	40.08
12	46.11
24	56.55
36	70.56
48	81.15

Figura 12.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 2 g/L NaCN; 12 pH y 80% -#200.



De las figuras 11 y 12, La Figura 12 muestra que el valor máximo de recuperación del Oro es del 81.15% en un tiempo de agitación de 48 horas. Las curvas muestran el proceso cinético intensivo durante las primeras 12 horas. También es evidente que al aumentar la molienda al 80% - #200) disuelve el 81.15% del oro en el tiempo estipulado y aumenta el rendimiento de oro.

- Prueba preliminar con GoldMax

Los parámetros de la prueba preliminar utilizando GoldMax se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 16.

Resultados de las pruebas metalúrgicas preliminares con GoldMax.

	Prueba N° 1	Prueba N° 2
Tiempo de lixiviación (horas)	12	48
pH (Rango de trabajo)	11	12
Peso de Mineral (Kilogramo)	1	1
Dilución (Relación Líquido Sólido)	2	2.5
Granulometría (-200 malla %)	75	80
Concentración de Gold Max (g/L)	0.25	0.75
Consumo de Gold Max (Kg/TM)	4.08	6.36
Consumo de Cal (Kg/TM)	1.25	6.3
Extracción de oro (%)	35.93	93.95
Ley de Cabeza (g/TM)	34.893	34.893

Este resultado muestra nuevamente que la granulometría generada al moler el mineral es importante para el contacto de las partículas de oro con la solución de cianuro. Así, moliendo con un 80% menos de malla 200 permite disolver el 93.95% del oro, lo que dista mucho de ser óptimo y por lo que es necesario considerar al momento de hacer el diseño experimental las siguientes variables: Concentración del reactivo GoldMax, pH y tiempo de lixiviación.

Tabla 17.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.25 g/L Goldmax; 11 pH y 75% - #200

Tiempo (h)	Recuperación de Au (%)
0	0
8	27.39
12	35.93
24	51.82
36	73.93
48	83.78

Figura 13.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.25 g/L Goldmax; 11 pH y 75% - #200

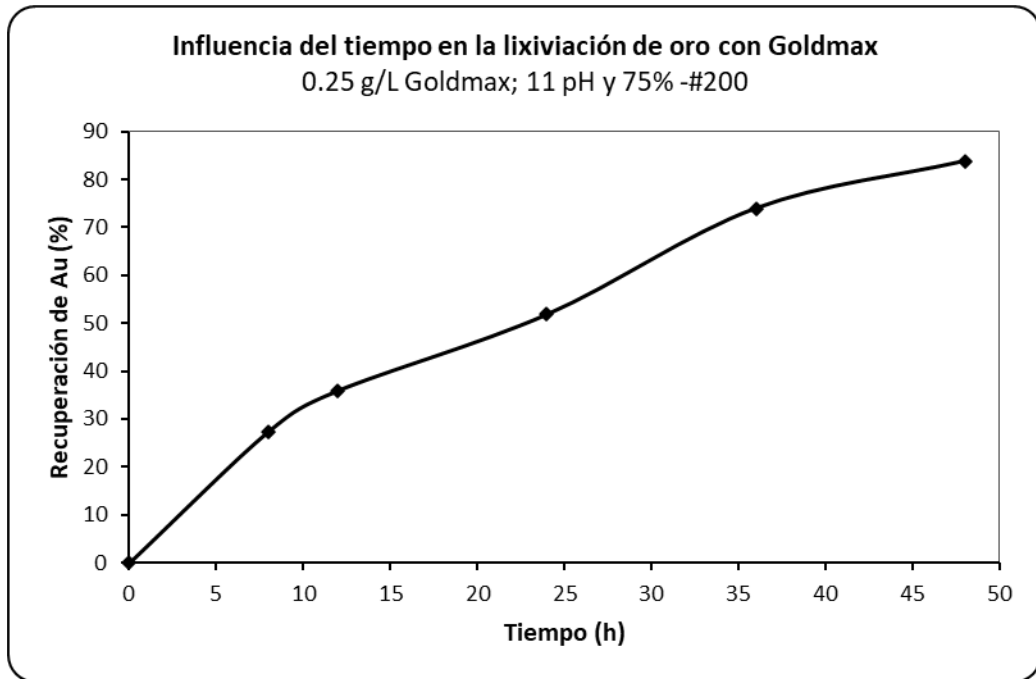


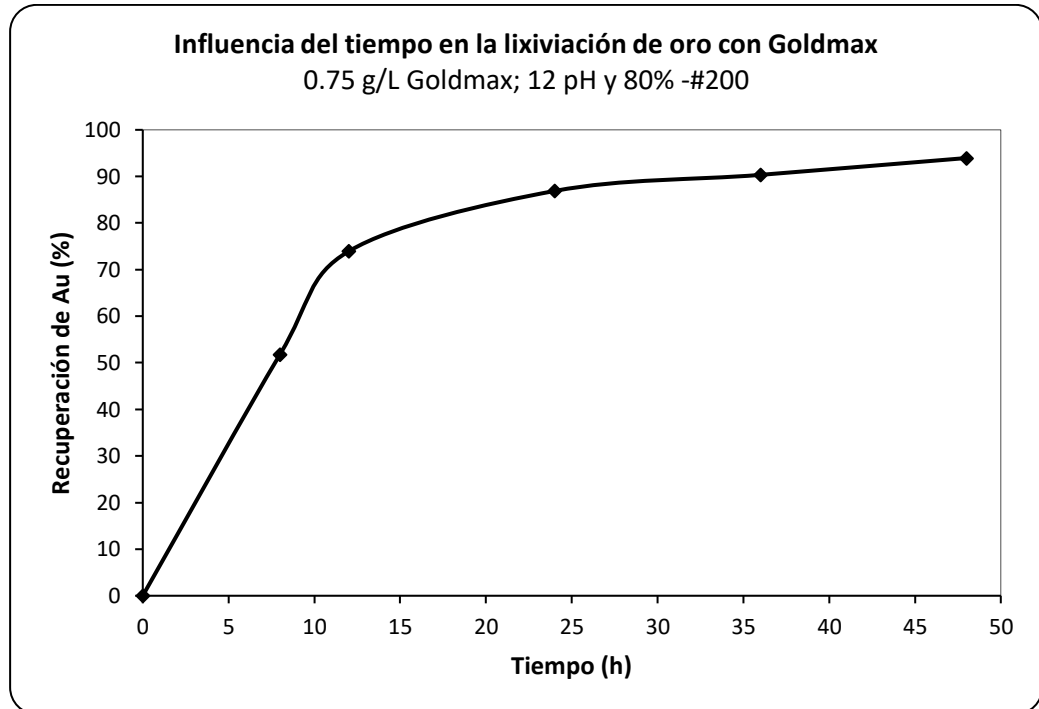
Tabla 18.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.75 g/L Goldmax; 12 pH y 80% - #200

Tiempo (h)	Recuperación de Au (%)
0	0
8	51.82
12	73.93
24	86.88
36	90.34
48	93.95

Figura 14.

Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 0.75 g/L Goldmax; 12 pH y 80% - #200



De las figuras 13 y 14, la figura 14 muestra que el valor máximo de recuperación de oro utilizando GoldMax es 93.95% con un tiempo de agitación de 48 horas. Las curvas muestran el proceso cinético intensivo durante las primeras 12 horas. También está claro que al aumentar la molienda al 80% - #200 disuelve el 93.95% del oro y aumenta el rendimiento del oro en un tiempo determinado.

4.3.2. Pruebas para Diseño Experimental

- Diseño Experimental con Cianuro

Los parámetros que se utilizaron para hacer el diseño experimental utilizando cianuro fueron:

Tabla 19.

Variables determinadas para el diseño experimental con cianuro.

Pruebas de la 1 a la 11	
Gravedad Especifica (g/ cm ³)	2.711
Peso de Mineral (Kilogramos)	1
dilución (Relación Liquido Solido)	2.5
Granulometría (-200 malla %)	80
Porcentaje de -Solidos (%)	27.47
Volumen del Reactor (litros)	4
RPM de Agitador	2500
Ley de Cabeza (g/TM)	34.893

Tabla 20.

Niveles de las variables para el Cianuro.

		Min	Max
Z₁	Cianuro (g/l)	1	2
Z₂	pH	10	12
Z₃	Tiempo (horas)	24	48

La variable respuesta (criterio de optimización) es la recuperación del oro en solución expresado en porcentaje. La tabla 20 muestra el diseño del montaje experimental, mostrando los valores de las variables en la escala de codificación (X_i) y la escala natural (Z_i) siendo la recuperación del oro en solución (Y).

Tabla 21.

Planificación y resultados del diseño experimental con cianuro

N	X₁	X₂	X₃	Z₁	Z₂	Z₃	CÓDIGO	Y
1	-1	-1	-1	1	10	24	CMP-00170	84.53
2	1	-1	-1	2	10	24	CMP-00171	88.98
3	-1	1	-1	1	12	24	CMP-00172	82.52
4	1	1	-1	2	12	24	CMP-00173	77.64
5	-1	-1	1	1	10	48	CMP-00174	91.72
6	1	-1	1	2	10	48	CMP-00175	91.46
7	-1	1	1	1	12	48	CMP-00176	97.50
8	1	1	1	2	12	48	CMP-00177	92.89

Tabla 22.

Resultados de replicas en el centro del diseño experimental con Cianuro

N	X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	CÓDIGO	Y
9	0	0	0	1.5	11	36	CMP-00178	91.55
10	0	0	0	1.5	11	36	CMP-00179	90.82
11	0	0	0	1.5	11	36	CMP-00180	92.11

- **Diseño experimental con Gold Max**

Los parámetros que se utilizaron para hacer el diseño experimental utilizando GoldMax fueron:

Tabla 23.

Variables determinadas para el diseño experimental con GoldMax.

Pruebas de la 1 a la 11	
Gravedad Especifica (g/ cm ³)	2.711
Peso del mineral (Kilogramos)	1
Dilución (Relación Liquido Solido)	2.5
Granulometría (-200 malla %)	80
Porcentaje de -Solidos (%)	27.47
Volumen del Reactor (litros)	4
RPM de Agitador	2500
Ley de Cabeza (g/TM)	34.893

Tabla 24.

Niveles de las variables para Gold Max

		Min.	Max.
Z₁	Gold Max (g/l)	0.5	1
Z₂	pH	10	12
Z₃	Tiempo (Horas)	24	48

La variable respuesta (criterio de optimización) es la recuperación del oro en solución expresado en porcentaje. La tabla 24 muestra el diseño del montaje experimental, mostrando los valores de las variables en la escala de codificación (X_i) y la escala natural (Z_i) siendo la recuperación del oro en solución (Y).



Tabla 25.

Planificación y Resultados Del Diseño Experimental con Gold Max.

N	X₁	X₂	X₃	Z₁	Z₂	Z₃	CÓDIGO	Y
1	-1	-1	-1	0.5	10	24	CMP-00154	51.82
2	1	-1	-1	1	10	24	CMP-00155	73.93
3	-1	1	-1	0.5	12	24	CMP-00156	76.36
4	1	1	-1	1	12	24	CMP-00157	86.88
5	-1	-1	1	0.5	10	48	CMP-00158	83.78
6	1	-1	1	1	10	48	CMP-00159	91.48
7	-1	1	1	0.5	12	48	CMP-00160	94.87
8	1	1	1	1	12	48	CMP-00161	90.34

Tabla 26.

Resultados de Replicas en el Centro Del Diseño Experimental con Gold Max.

N	X₁	X₂	X₃	Z₁	Z₂	Z₃	CÓDIGO	Y
9	0	0	0	0.75	11	36	CMP-00162	94.56
10	0	0	0	0.75	11	36	CMP-00163	95.86
11	0	0	0	0.75	11	36	CMP-00164	94.24

4.4. OPTIMIZACIÓN DE LIXIVIACIÓN

Teniendo en consideración la metodología del diseño factorial replicado en el centro, es importante determinar la influencia de la variable independiente en estudio sobre la variable respuesta (% de recuperación de oro en solución), para luego proceder con un análisis de varianza y finalizando con un modelo matemático que represente el proceso en estudio para cada método de lixiviación y así comparar estos procesos.

4.4.1. Optimización para el Cianuro

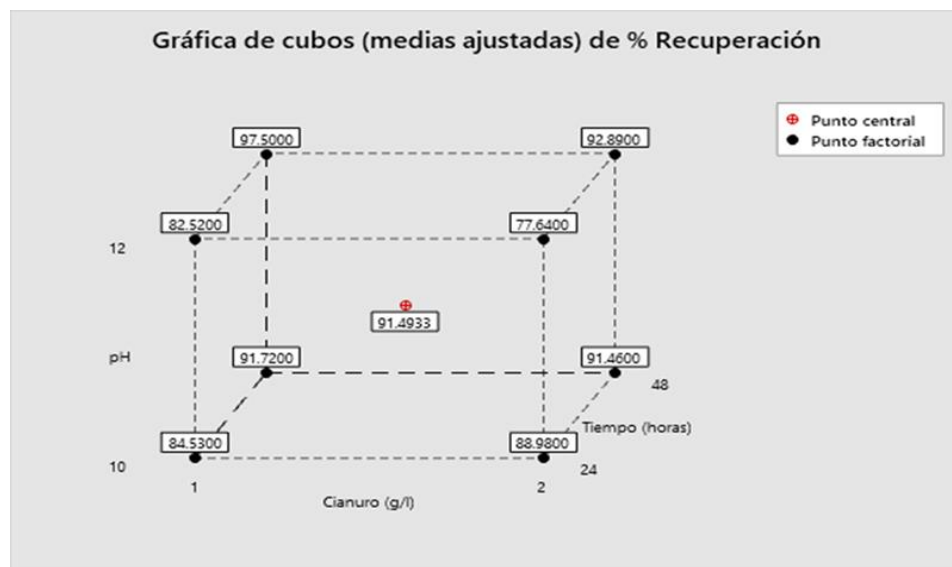
Tabla 27.

Resultado de variable respuesta en el diseño factorial

N° de Prueba	X1	X2	X3	Y
	Cianuro (g/L)	pH	Tiempo (horas)	%R de oro
1	-1	-1	-1	84.53
2	1	-1	-1	88.98
3	-1	1	-1	82.52
4	1	1	-1	77.64
5	-1	-1	1	91.72
6	1	-1	1	91.46
7	-1	1	1	97.50
8	1	1	1	92.89
9	0	0	0	91.55
10	0	0	0	90.82
11	0	0	0	92.11

Figura 15.

Representación Geométrica de 2³ (medias de los datos).



4.4.1.1. Estimación de efectos

En el diseño 2³, se puede evaluar 3 factores principales, 2 interacciones dobles y 1 interacción triple, tal como se puede observar en las figuras 16 y 17 identificando los efectos principales.

Tabla 28.

Resultado del cálculo de efectos.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		88.405	0.229	386.55	0.000	
Cianuro (g/l)	-1.325	-0.662	0.229	-2.90	0.101	1.00
pH	-1.535	-0.768	0.229	-3.36	0.078	1.00
Tiempo (horas)	9.975	4.987	0.229	21.81	0.002	1.00
Cianuro (g/l)*pH	-3.420	-1.710	0.229	-7.48	0.017	1.00
Cianuro (g/l)*Tiempo (horas)	-1.110	-0.555	0.229	-2.43	0.136	1.00
pH*Tiempo (horas)	5.140	2.570	0.229	11.24	0.008	1.00
Cianuro (g/l)*pH*Tiempo (horas)	1.245	0.623	0.229	2.72	0.113	1.00
Pt Ctral		3.088	0.438	7.05	0.020	1.00

Figura 16.

Grafica de Efectos principales.

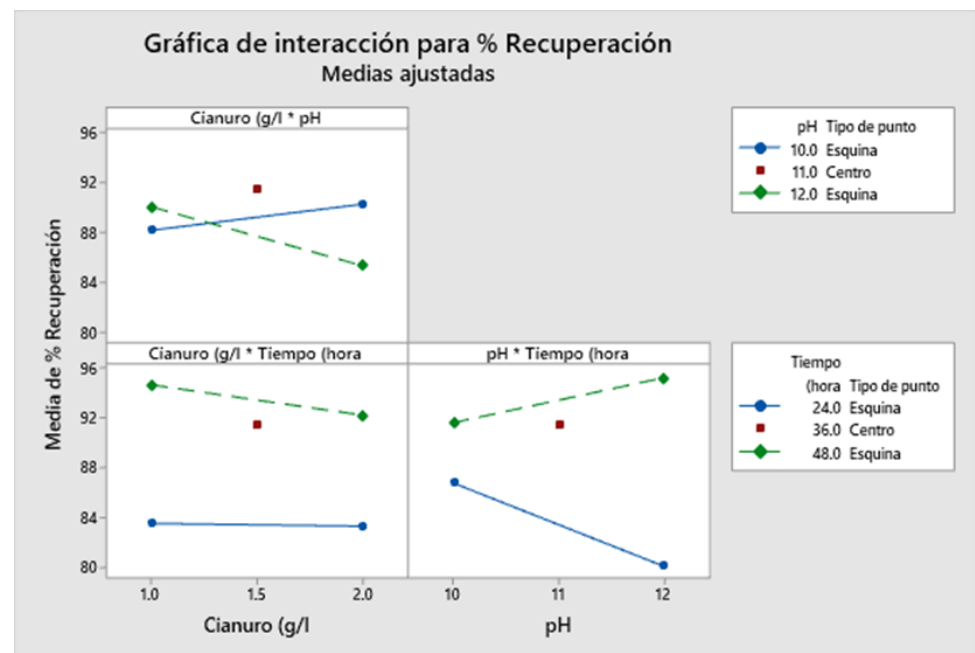
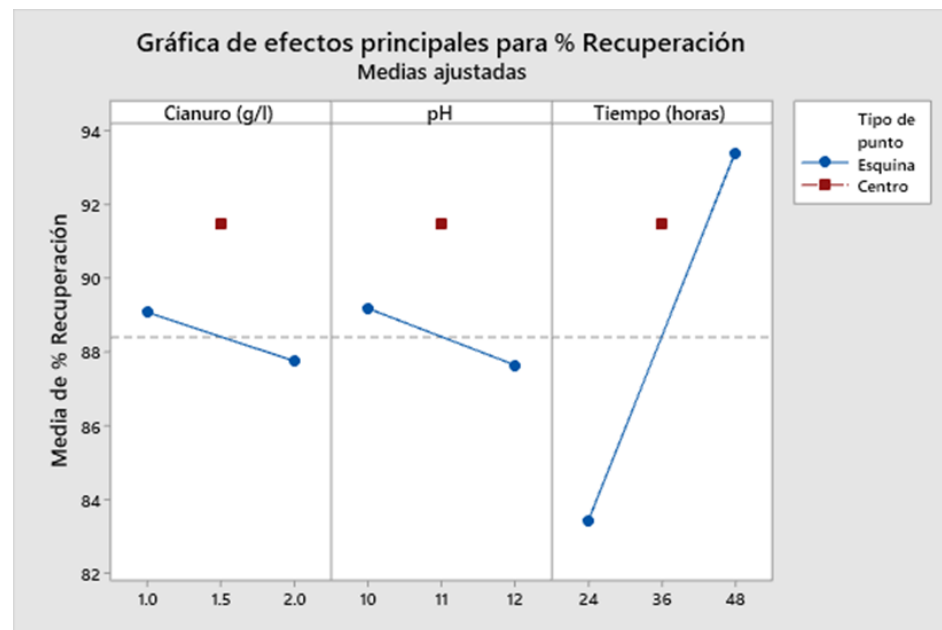


Figura 17.

Grafica de Interacción.



- El Tiempo, es el término que tiene mayor impacto en la variable respuesta (% de recuperación del oro). El cambio del valor más bajo (24 horas) al valor más alto (48 horas) tiene un impacto positivo del 9.975%
- La concentración de Cianuro y pH; Generan un efecto absoluto muy similar, la influencia de la dosificación de Cianuro y pH son negativas en % Recuperación del Oro.
- Gráficamente se observa una curvatura muy pronunciada entre los factores principales y el punto central.

4.4.1.2. Análisis de varianza

La Figura 18 muestra la influencia jerárquica de los factores sobre la variable respuesta. Se observa que el tiempo, las interacciones de pH * Tiempo y concentración de cianuro * pH tienen el mayor impacto en la recuperación en % de oro en orden descendente. Esto se contrasta con los

valores de probabilidad de la Tabla 28 para el análisis de varianza (ANOVA).

Figura 18.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

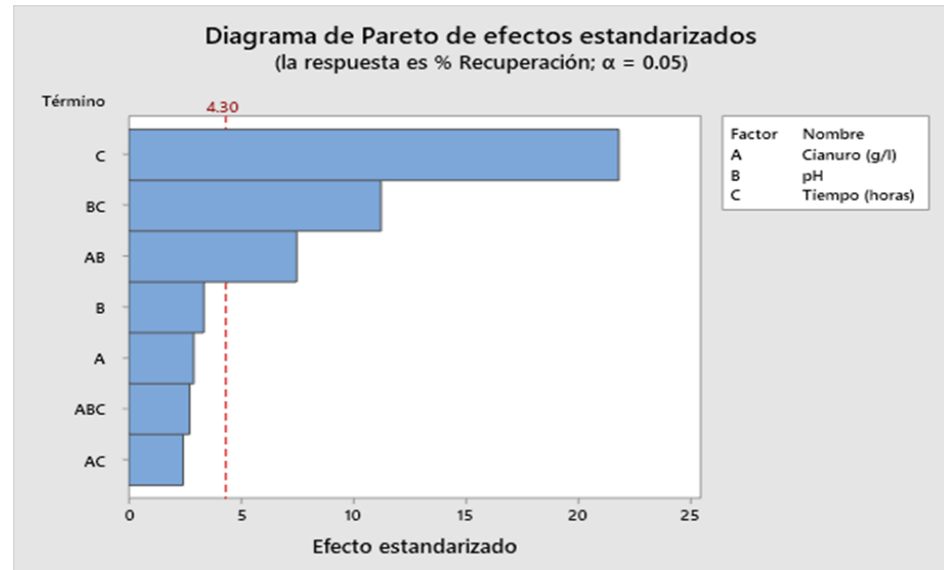


Tabla 29.

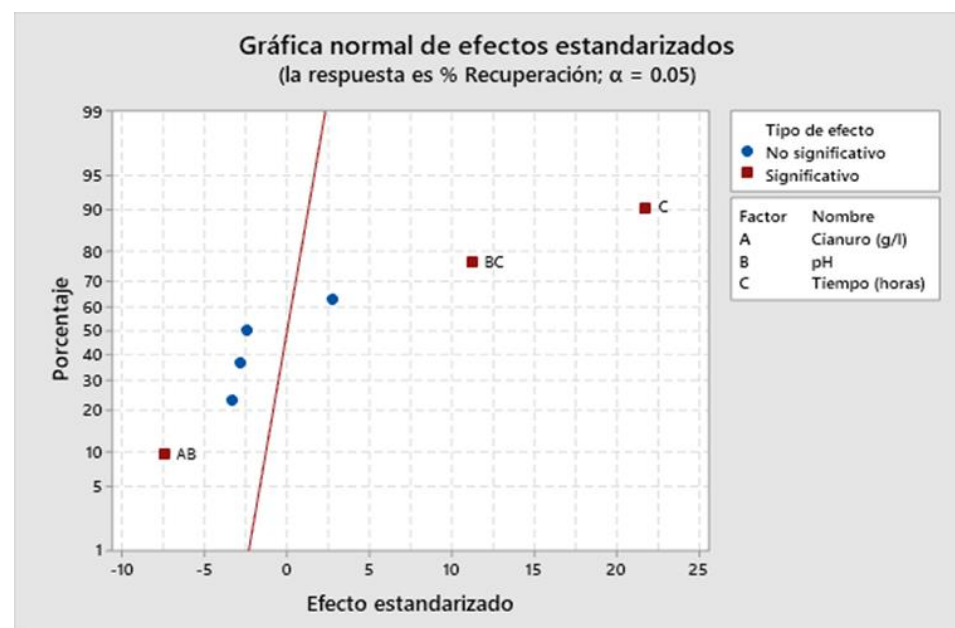
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	309.831	38.729	92.56	0.011
Lineal	3	207.225	69.075	165.08	0.006
Cianuro (g/l)	1	3.511	3.511	8.39	0.101
pH	1	4.712	4.712	11.26	0.078
Tiempo (horas)	1	199.001	199.001	475.59	0.002
Interacciones de 2 términos	3	78.696	26.232	62.69	0.016
Cianuro (g/l)*pH	1	23.393	23.393	55.91	0.017
Cianuro (g/l)*Tiempo (horas)	1	2.464	2.464	5.89	0.136
pH*Tiempo (horas)	1	52.839	52.839	126.28	0.008
Interacciones de 3 términos	1	3.100	3.100	7.41	0.113
Cianuro (g/l)*pH*Tiempo (horas)	1	3.100	3.100	7.41	0.113
Curvatura	1	20.810	20.810	49.73	0.020
Error	2	0.837	0.418		
Total	10	310.668			

La suposición de linealidad no cumple, de acuerdo al test de curvatura en el diseño factorial 2k con réplicas centrales. Esto es verificado en la Tabla 30 de ANOVA, nótese el valor de probabilidad del efecto de curvatura es 0.020, probabilidad es inferior al 0.05 del límite del valor de significancia, Así también se constata que el efecto tiempo y las interacciones de concentración de cianuro * pH y pH * Tiempo en el estudio son significativos a la variable respuesta (% Recuperación de Oro).

Figura 19.

Normalidad de efectos estandarizados.



Interpretación y análisis

- Al aumento de la concentración de cianuro de sodio también aumenta la recuperación de oro en un 8.39%.
- El análisis de varianza mostró que el aumento del pH de 10 a 12 en un 11.26% afectó la recuperación de oro.



- c. El tiempo de lixiviación tiene un impacto significativo ya que es de 24-48 horas desde el nivel bajo hasta el nivel alto y tiene un efecto positivo del 475.59%.
- d. La interacción entre la concentración de cianuro y el pH fue muy significativa, aumentando la eficiencia de recuperación de oro en solución en un 55.91%. La concentración de cianuro no es crítica, pero depende de la interacción.
- e. El aumento de la concentración y el tiempo de cianuro aumenta la recuperación de oro en un 5.89%.
- f. La interacción entre el valor del pH y el tiempo influye en un 126.28% ya que las dos variables son importantes para el proceso.
- g. Cuando las tres variables alcanzan sus valores máximos, la tasa de recuperación de oro aumenta un 7.41%.
- h. A pesar del error se observa un fuerte efecto de curvatura. Esto es muy importante y sugiere que el área óptima del proceso está en el centro del diseño. Esta conclusión es válida porque se realizaron tres iteraciones durante el diseño.
- i. Como se puede ver, C, AB, BC y la curvatura son importantes, pero A, B, AC y ABC no lo son.

Tabla 30.*Análisis de T-Student.*

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	88.405	0.229	386.55	0.000
Cianuro (g/l)	-0.662	0.229	-2.90	0.101
pH	-0.768	0.229	-3.36	0.078
Tiempo (horas)	4.987	0.229	21.81	0.002
Cianuro (g/l)*pH	-1.710	0.229	-7.48	0.017
Cianuro (g/l)*Tiempo (horas)	-0.555	0.229	-2.43	0.136
pH*Tiempo (horas)	2.570	0.229	11.24	0.008
Cianuro (g/l)*pH*Tiempo (horas)	0.623	0.229	2.72	0.113
Pt Ctral	3.088	0.438	7.05	0.020

El valor de T en la Tabla 29, muestra la significancia de importancia de forma positiva en el tiempo de lixiviación en la respuesta, mientras que la concentración de cianuro y el pH posee una significancia en contra ante la respuesta.

4.4.1.3. Formulación del Modelo Matemático

Luego de identificar las magnitudes de los principales efectos e interacciones que forman parte del diseño experimental, comprobar su significancia estadística mediante una prueba de análisis de varianza, y comparar la ausencia de curvatura con la prueba del punto medio, el modelo de regresión se puede observar que es lineal. Para establecer la mejor aproximación de la función matemática con respecto a la variable respuesta y esclarecer la significación de la fuente de variación se



suprimen los efectos no significativos para el análisis de varianza (Gutiérrez Pulido, 2012).

Determinando los términos teniendo en consideración la ecuación (10):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 - b_3 X_3 \quad (10)$$

Donde:

X_1 : Concentración de Cianuro (g/l)

X_2 : pH

X_3 : Tiempo (horas)

Y : % Recuperación de Oro (estimada).

b_0 : Término independiente del modelo (corresponde a la media).

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes; Son la mitad de los efectos calculados.

La fórmula matemática obtenida utilizando asociada a la Tabla 16 es:

$$Y = 45.6 + 80.7 X_1 + 2.25 X_2 - 0.090 X_3$$

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \% \text{ Recuperación} = & 45.6 + 80.7 \text{ Cianuro (g/l)} + 2.25 \text{ pH} - 0.090 \\ & \text{Tiempo (horas)} - 7.15 \text{ Cianuro (g/l)*pH} - 1.234 \text{ Cianuro (g/l)*Tiempo} \\ & \text{(horas)} + 0.0585 \text{ pH*Tiempo (horas)} + 0.1037 \text{ Cianuro (g/l)*pH*Tiempo} \\ & \text{(horas)} + 3.088 \text{ Pt Ctral} \end{aligned}$$

4.4.1.4. Análisis de residuos

Según la ecuación (10) se pueden estimar los residuos.

Tabla 31.

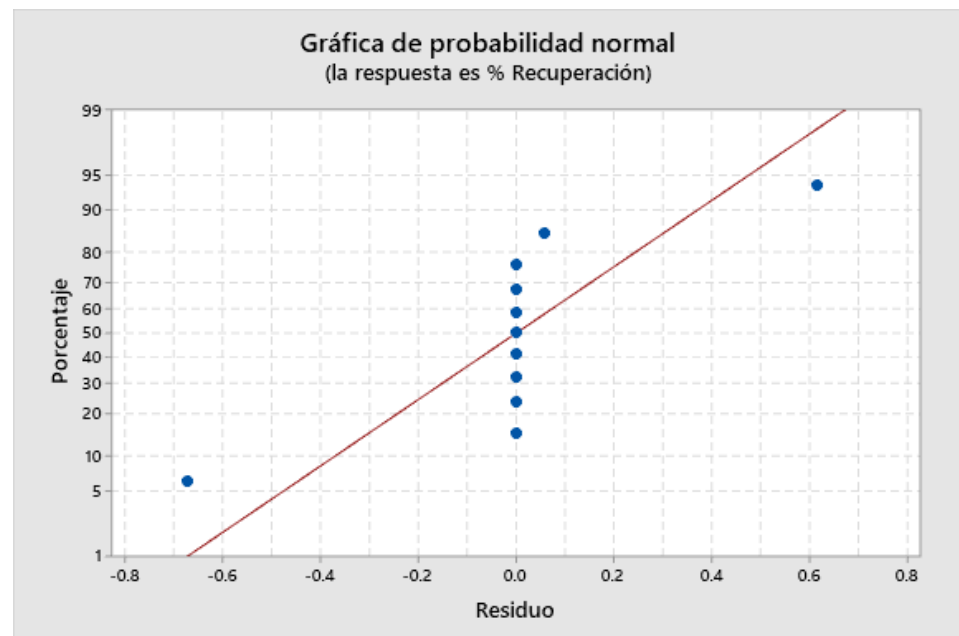
Estimación de residuos.

Obs	% Recuperación	Ajuste	Resid	
1	84.530	84.530	0.000	X
2	88.980	88.980	0.000	X
3	82.520	82.520	0.000	X
4	77.640	77.640	0.000	X
5	91.720	91.720	0.000	X
6	91.460	91.460	0.000	X
7	97.500	97.500	0.000	X
8	92.890	92.890	0.000	X

X poco común X

Figura 20.

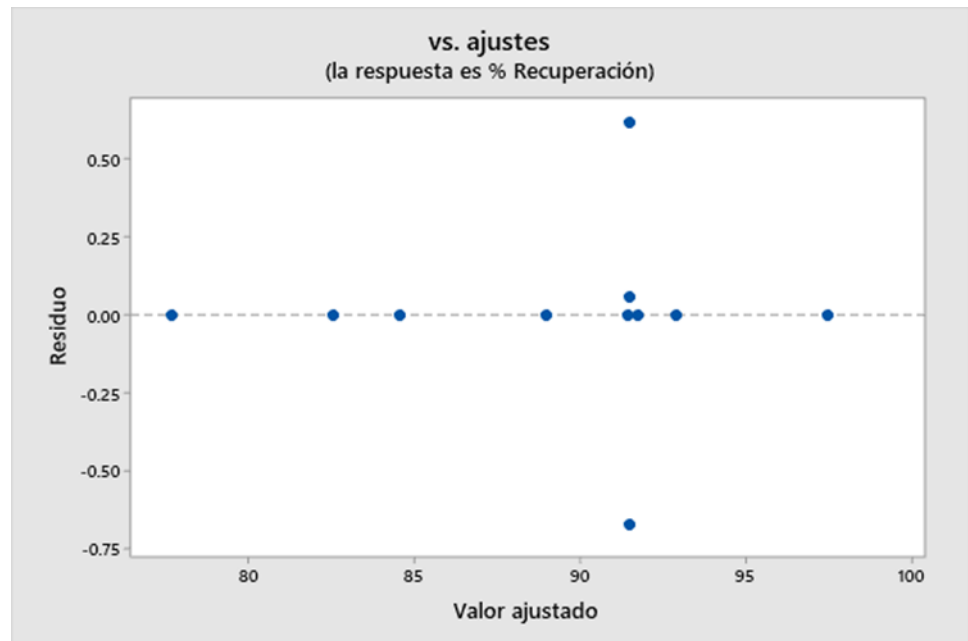
Gráfico normal de residuos



En la Figura 20 se observa que los puntos de residuos están aproximadamente alineados en el punto 0.0, con aparición de datos típicos, verificándose así el comportamiento de distribución normal.

Figura 21.

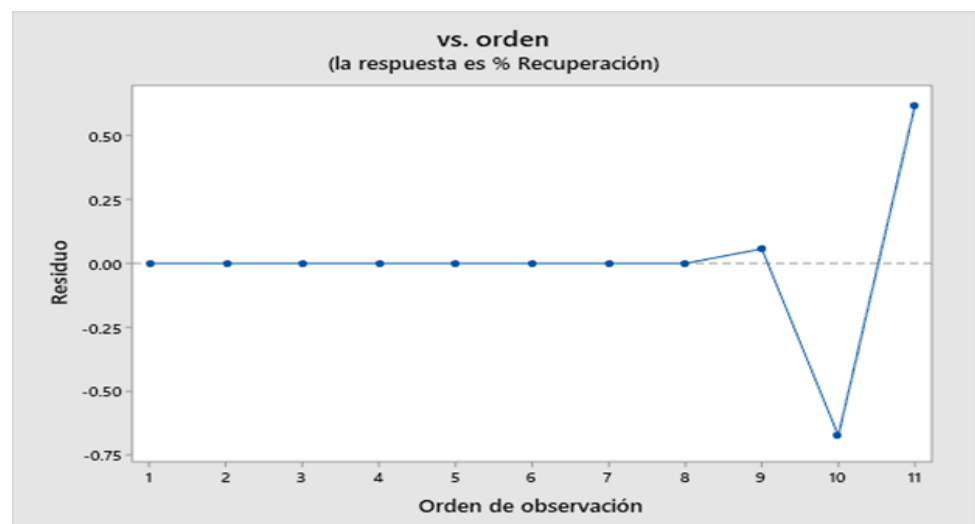
Residuos vs valor estimado.



La Figura 21 de residuos y valores estimados por el modelo lineal, muestra que la distribución de puntos es uniforme y existe un patrón característico que muestra la relación entre el error obtenido del modelo y el valor estimado.

Figura 22.

Residuos vs orden observación.





En la Figura 22 se observa una serie de puntos dentro del residual. Dependiendo del orden del experimento, las líneas que conectan los puntos forman un patrón o secuencia. El análisis de los residuos mediante métodos gráficos revela que los supuestos de normalidad, varianza, constante e independencia no corresponden al modelo de regresión lineal establecido.

Tabla 32.

Combinación de los niveles de los factores.

Factor	Nombre	Bajo	Alto	Óptimo
Z1	Cianuro (g/L)	1	2	1
Z2	pH	10	12	12
Z3	Tiempo (horas)	24	48	48

4.4.2. Optimización para el Gold Max

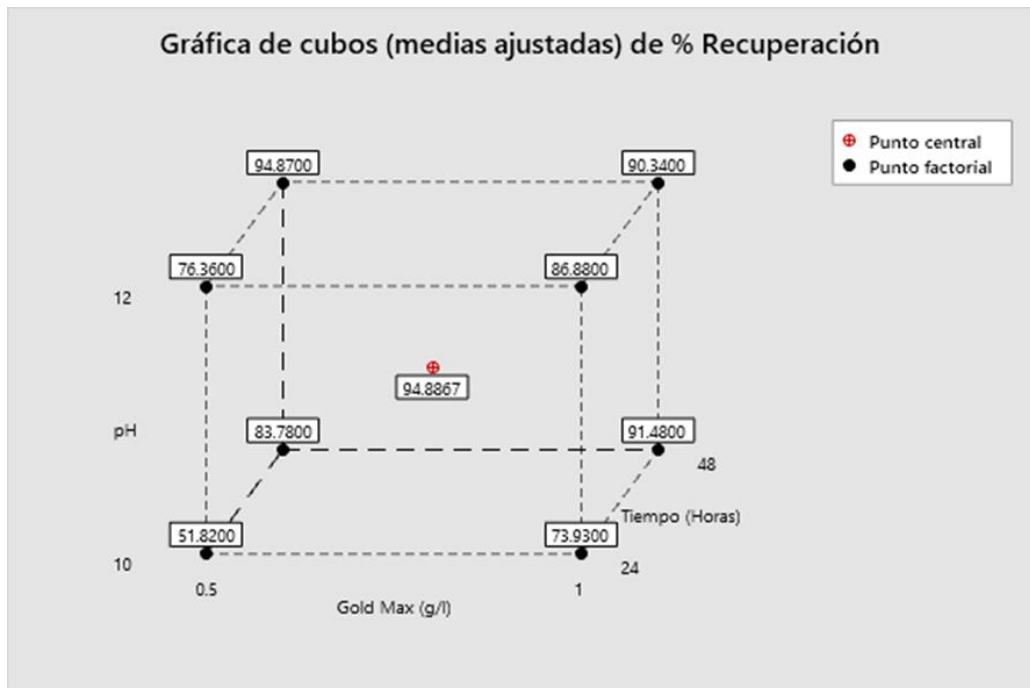
Tabla 33.

Resultado de variable respuesta en el diseño factorial

N° de Prueba	X1 Gold Max (g/L)	X2 pH	X3 Tiempo (horas)	Y %R de oro
1	-1	-1	-1	51.82
2	1	-1	-1	73.93
3	-1	1	-1	76.36
4	1	1	-1	86.88
5	-1	-1	1	83.78
6	1	-1	1	91.48
7	-1	1	1	94.87
8	1	1	1	90.34
9	0	0	0	94.56
10	0	0	0	95.86
11	0	0	0	94.24

Figura 23.

Representación Geométrica de 2^3 (medias de los datos).



4.4.2.1. Estimación de efectos

Al utilizar el diseño 2^3 , se evalúan 3 factores principales, 2 iteraciones dobles y 1 iteración triple, al observar la Figura 24 de efectos principales se identifican lo que indica la mencionada figura.

Tabla 34.

Resultado del cálculo de efectos.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		81.182	0.303	267.63	0.000	
Gold Max (g/l)	8.950	4.475	0.303	14.75	0.005	1.00
pH	11.860	5.930	0.303	19.55	0.003	1.00
Tiempo (Horas)	17.870	8.935	0.303	29.46	0.001	1.00
Gold Max (g/l)*pH	-5.955	-2.978	0.303	-9.82	0.010	1.00
Gold Max (g/l)*Tiempo (Horas)	-7.365	-3.682	0.303	-12.14	0.007	1.00
pH*Tiempo (Horas)	-6.885	-3.442	0.303	-11.35	0.008	1.00

Gold Max (g/l)*pH*Tiempo (Horas)	-0.160	-0.080	0.303	-0.26	0.817	1.00
Pt Ctral		13.704	0.581	23.59	0.002	1.00

Figura 24.

Grafica de Efectos principales.

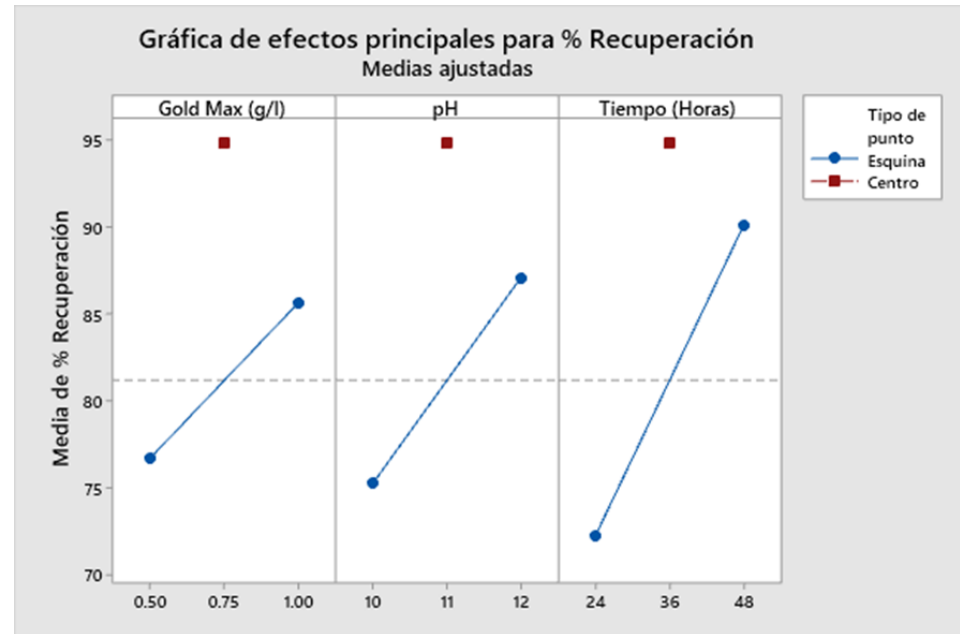
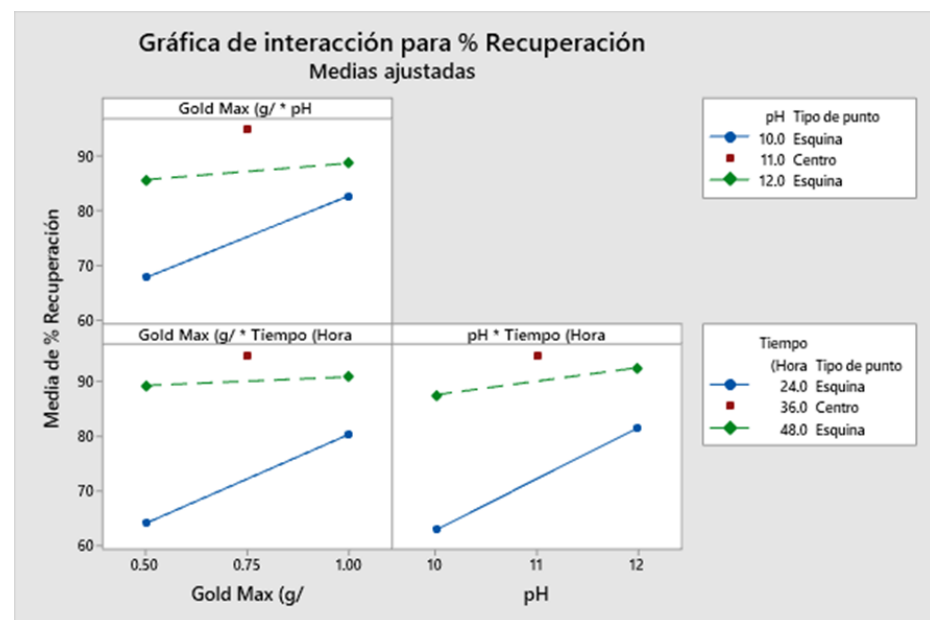


Figura 25.

Grafica de Interacción.





- El Tiempo, es el término que tiene mayor impacto en la variable respuesta (% de recuperación del oro). El cambio del valor más bajo (24 horas) al valor más alto (48 horas) tiene un impacto positivo del 17.870 %
- La concentración de GoldMax y pH; Generan un efecto absoluto muy similar, la influencia de la dosificación de Cianuro y pH son positivas en % Recuperación del Oro.
- Gráficamente se observa una curvatura muy pronunciada entre los factores principales y el punto central.

4.4.2.2. Análisis de varianza

La Figura 26 muestra la influencia jerárquica de los factores sobre la variable de respuesta. El tiempo, el pH y la concentración de Gold Max representan las interacciones de la concentración de Gold Max * tiempo, pH * tiempo y la concentración de Gold Max * pH, que se observa tienen un impacto significativo en el % de recuperación de oro en orden descendente. Esto contrasta con los valores de probabilidad de la Tabla 35 para el análisis de varianza (ANOVA).

Figura 26.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

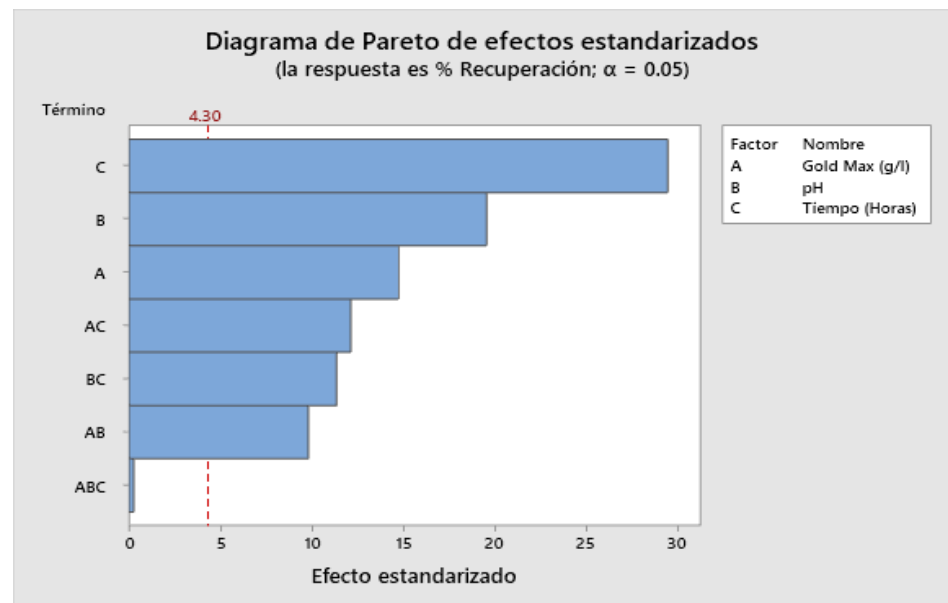


Tabla 35.

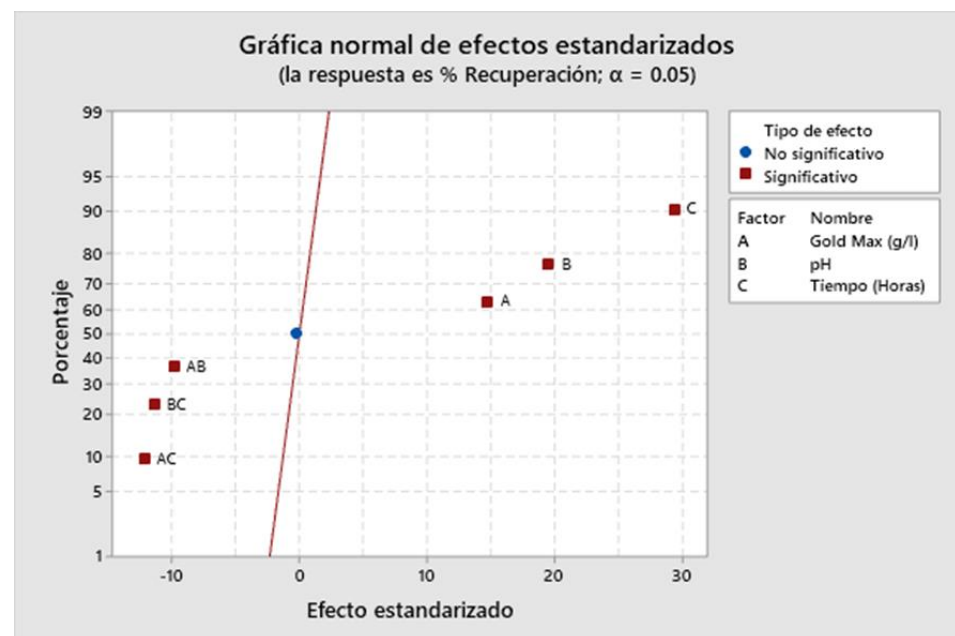
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1764.22	220.528	299.58	0.003
Lineal	3	1080.20	360.066	489.13	0.002
Gold Max (g/l)	1	160.21	160.205	217.63	0.005
pH	1	281.32	281.319	382.16	0.003
Tiempo (Horas)	1	638.67	638.674	867.61	0.001
Interacciones de 2 términos	3	274.22	91.406	124.17	0.008
Gold Max (g/l)*pH	1	70.92	70.924	96.35	0.010
Gold Max (g/l)*Tiempo (Horas)	1	108.49	108.486	147.37	0.007
pH*Tiempo (Horas)	1	94.81	94.806	128.79	0.008
Interacciones de 3 términos	1	0.05	0.051	0.07	0.817
Gold Max (g/l)*pH*Tiempo (Horas)	1	0.05	0.051	0.07	0.817
Curvatura	1	409.75	409.755	556.63	0.002
Error	2	1.47	0.736		
Total	10	1765.69			

Según la prueba de curvatura, el supuesto de linealidad no se cumple para el diseño factorial 2^k con replicación central. Esto se verifica en la Tabla 34 del ANOVA. Tenga en cuenta que el valor de probabilidad del efecto de curvatura es 0.002 y la probabilidad está por debajo del límite de significancia de 0.05. Así también se constata que el efecto tiempo, pH, concentración de Gold Max y las interacciones de concentración de Gold Max * Tiempo, pH * Tiempo y concentración de Gold Max * pH en el estudio son significativos a la variable respuesta (% Recuperación de Oro).

Figura 27.

Normalidad de efectos estandarizados.



Interpretación y análisis

- El efecto de aumentar la concentración de Gold Max también aumenta la recuperación de oro en un 217.63%.
- El análisis de varianza mostró que el pH es importante y tiene un efecto significativo en la recuperación de oro, aumentando de 10 a 12 también aumenta en 382.16%.



- c. El tiempo de lixiviación tiene un impacto significativo ya que es de 24-48 horas desde el nivel bajo hasta el nivel alto y tiene un efecto positivo del 867.61%.
- d. La interacción entre la concentración de Gold Max y el valor de pH fue significativa, aumentando la eficiencia de recuperación de oro en solución en un 96.35%.
- e. Al aumentar la concentración y el tiempo de Gold Max aumenta la recuperación de oro en un 147.37%.
- f. La interacción entre el valor de pH y el tiempo afecta el valor de pH en un 128.79%.
- g. Cuando las tres variables alcanzan sus valores máximos, la extracción aumenta un 0.07%, lo que no es muy significativo.
- h. A pesar del error se observa un fuerte efecto de curvatura. Esto es muy importante y sugiere que el área óptima del proceso está en el centro del diseño. Esta conclusión es válida porque se realizaron tres iteraciones durante el diseño.
- i. Como se puede ver, las curvaturas A, B, C, AB, AC, BC son importantes, pero ABC no lo es.

Tabla 36.

Análisis de T-Student.

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	81.182	0.303	267.63	0.000
Gold Max (g/l)	4.475	0.303	14.75	0.005
pH	5.930	0.303	19.55	0.003
Tiempo (Horas)	8.935	0.303	29.46	0.001
Gold Max (g/l)*pH	-2.978	0.303	-9.82	0.010
Gold Max (g/l)*Tiempo (Horas)	-3.682	0.303	-12.14	0.007
pH*Tiempo (Horas)	-3.442	0.303	-11.35	0.008



Gold Max (g/l)*pH*Tiempo (Horas)	-0.080	0.303	-0.26	0.817
Pt Ctral	13.704	0.581	23.59	0.002

El valor de T en Tabla 35, muestra la significancia de importancia de forma positiva en el tiempo de lixiviación, la concentración de Gold Max y el pH en la respuesta, mientras que las interacciones poseen una significancia en contra ante la respuesta.

4.4.2.3. Formulación del Modelo Matemático

Luego de identificar las magnitudes de los principales efectos e interacciones que forman parte del diseño experimental, comprobar su significancia estadística mediante una prueba de análisis de varianza, y comparar la ausencia de curvatura con la prueba del punto medio, el modelo de regresión se puede observar que es lineal. Para establecer la mejor aproximación de la función matemática con respecto a la variable respuesta y esclarecer la significación de la fuente de variación se suprimen los efectos no significativos para el análisis de varianza (Gutiérrez Pulido, 2012).

Estableciendo los términos en base a la ecuación (11):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 - b_3 X_3 \quad (11)$$

Donde:

X₁: Concentración de Gold Max (g/l)

X₂: pH

X₃: Tiempo (horas)



Y : % Recuperación de Oro (estimada).

b_0 : Término independiente del modelo (corresponde a la media).

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes; Son la mitad de los efectos calculados.

La expresión matemática que se obtiene asociada a la tabla 16 es:

$$Y = -261.4 + 182.5 X_1 + 24.47 X_2 + 4.601 X_3$$

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \% \text{ Recuperación} = & -261.4 + 182.5 \text{ Gold Max (g/l)} + 24.47 \text{ pH} + \\ & 4.601 \text{ Tiempo (Horas)} - 10.95 \text{ Gold Max (g/l)*pH} - 0.93 \text{ Gold Max} \\ & \text{(g/l)*Tiempo (Horas)} - 0.2669 \text{ pH*Tiempo (Horas)} - 0.027 \text{ Gold Max} \\ & \text{(g/l)*pH*Tiempo (Horas)} + 13.704 \text{ Pt Ctral} \end{aligned}$$

4.4.2.4. Análisis de residuos.

Según la ecuación (11) se pueden estimar los residuos.

Tabla 37.

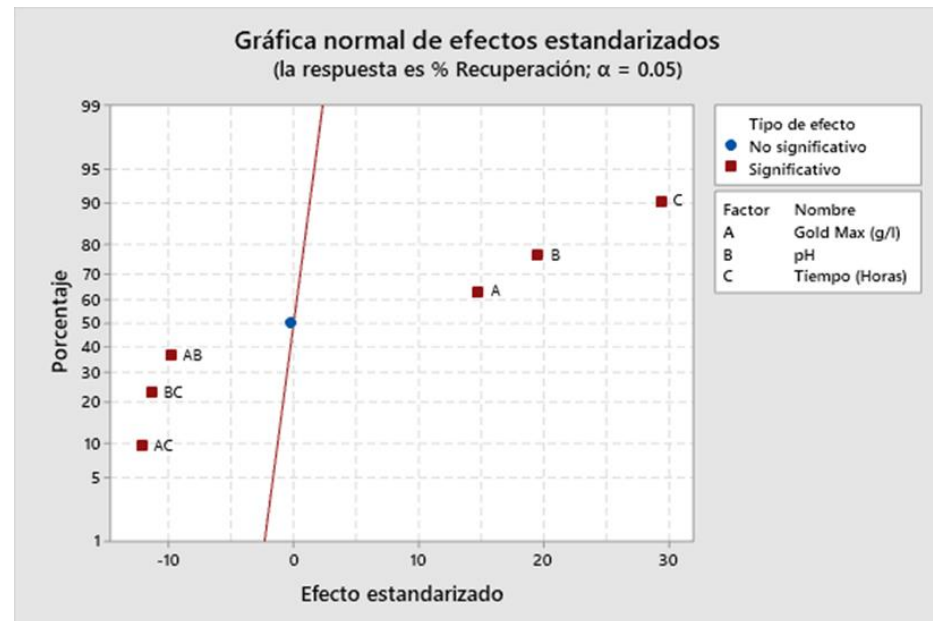
Estimación de residuos.

Obs	% Recuperación	Ajuste	Resid	
1	51.820	51.820	-0.000	X
2	73.930	73.930	-0.000	X
3	76.360	76.360	0.000	X
4	86.880	86.880	0.000	X
5	83.780	83.780	-0.000	X
6	91.480	91.480	0.000	X
7	94.870	94.870	-0.000	X
8	90.340	90.340	0.000	X

X poco común X

Figura 28

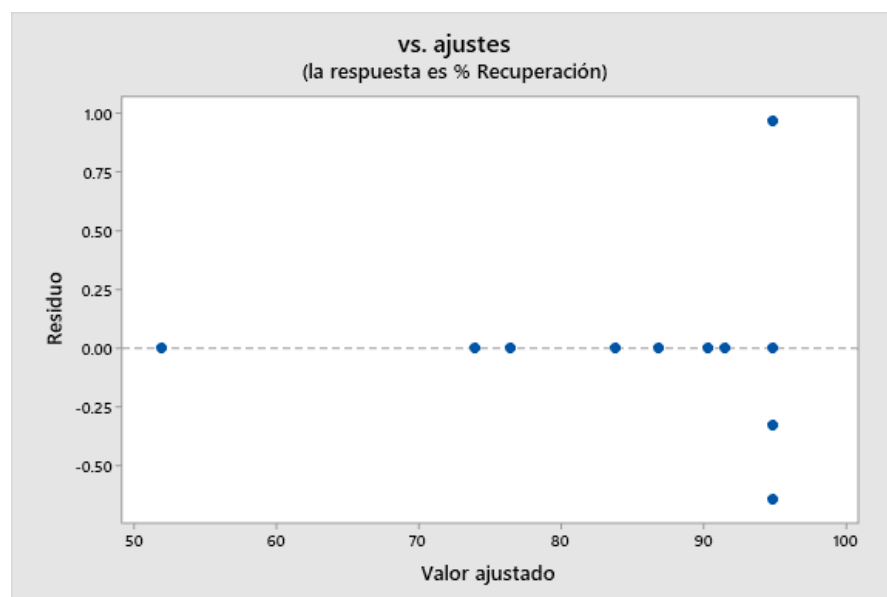
Gráfico normal de residuos



En la Figura 28 se observa que los puntos de residuos están aproximadamente alineados en el punto 0.0, con aparición de datos típicos, por lo cual se verifica el comportamiento de distribución es anormal.

Figura 29.

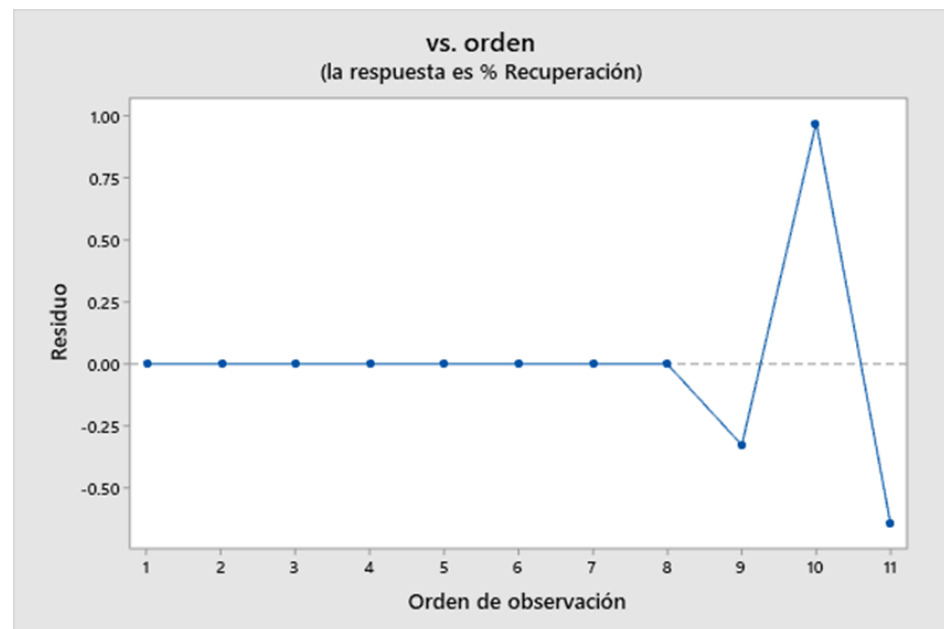
Residuos vs Valor estimado.



En la Figura 29 de residuos y valores estimados por el modelo lineal, podemos ver que la distribución de puntos es uniforme y existe un patrón característico que muestra la relación entre el error obtenido del modelo y el valor estimado.

Figura 30.

Residuos vs orden observación.



En la Figura 30 se observa una serie de puntos dentro del residuo. Dependiendo del orden del experimento, las líneas que conectan los puntos forman un patrón o secuencia. El análisis de los residuos mediante métodos gráficos revela que los supuestos de normalidad, varianza, constante e independencia no corresponden al modelo de regresión lineal establecido.

Tabla 38.*Combinación de los niveles de los factores.*

Factor	Nombre	Bajo	Alto	Óptimo
Z1	Gold Max (g/L)	0.5	1	0.75
Z2	pH	10	12	11
Z3	Tiempo (Horas)	24	48	36

4.5. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE LIXIVIACIÓN

Tabla 39.*Resumen de Lixiviación con Cianuro.*

Número de Prueba	Código	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Recuperación de Au con Cianuro	Consumo de Cianuro (Kg/TM)
1	CMP-00170	1	10	24	84.53	10.88
2	CMP-00171	2	10	24	88.98	14.54
3	CMP-00172	1	12	24	82.52	6.62
4	CMP-00173	2	12	24	77.64	7.55
5	CMP-00174	1	10	48	91.72	13.02
6	CMP-00175	2	10	48	91.46	17.01
7	CMP-00176	1	12	48	97.5	8.16
8	CMP-00177	2	12	48	92.89	7.45
9	CMP-00178	1.5	11	36	91.55	7.94
10	CMP-00179	1.5	11	36	90.82	8.23
11	CMP-00180	1.5	11	36	92.11	7.71

La mayor recuperación de oro en solución por lixiviación con cianuro se recuperó en la prueba CMP-00176 a una concentración de 1 g/L, pH 12 y un tiempo de 48 horas con un consumo de cianuro de 8.16 kg/TM obteniéndose una recuperación del 97.50%.

Tabla 40.

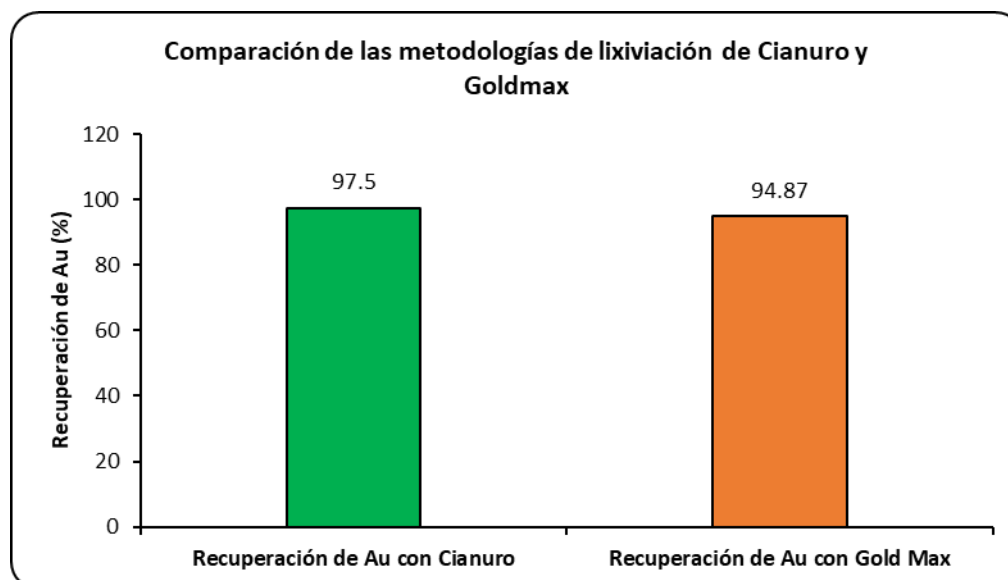
Resumen de lixiviación con Gold Max

Número de Prueba	CÓDIGO	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Recuperación de Au con Gold Max	Consumo de Gold Max (Kg/TM)
1	CMP-00154	0.5	10	24	51.82	5.83
2	CMP-00155	1	10	24	73.93	7.95
3	CMP-00156	0.5	12	24	76.36	5.45
4	CMP-00157	1	12	24	86.88	7.26
5	CMP-00158	0.5	10	48	83.78	6.71
6	CMP-00159	1	10	48	91.48	8.38
7	CMP-00160	0.5	12	48	94.87	5.61
8	CMP-00161	1	12	48	90.34	7.39
9	CMP-00162	0.75	11	36	94.56	6.73
10	CMP-00163	0.75	11	36	95.86	6.78
11	CMP-00164	0.75	11	36	94.24	6.67

La máxima recuperación de oro en solución por lixiviación Gold Max se determinó en la prueba CMP-00160 a una concentración de 0.5 g/L, pH 12 y un tiempo de 48 horas, resultando un consumo de Gold Max de 5.61 kg/TM, obteniéndose una recuperación del 94.87%.

Figura 31.

Comparación de las metodologías de lixiviación de Cianuro y Goldmax



Finalmente, del gráfico se observa que la máxima recuperación se da con el cianuro a las condiciones indicadas en las tablas 38 y 39, mostrándose que no existe una diferencia significativa en el porcentaje de recuperación entre los reactivos estudiados y nos muestra que solo existe el 2.63 % en comparación con el cianuro.

Tabla 41.

Comparación de costos del Cianuro vs. Gold Max en las pruebas por diseño experimental de lixiviación

Reactivo	Tiempo de lixiviación (hrs)	Consumo de reactivo (Kg/TM)	% de recuperación	Precio del reactivo (S/. *Kg)	Costo total del reactivo (S/. *Kg/TM)
Cianuro	48	8.16	97.50	12.00	97.92
Goldmax	48	5.61	94.87	15.00	84.15

En la tabla 40 se observa que el consumo de reactivos durante las pruebas por diseño experimental de lixiviación presenta que el consumo de cianuro es igual a 8.16 Kg/TM con un % de recuperación igual al 97.50 % y el consumo de Gold Max es de 5.61 Kg/TM con % de recuperación igual al 94.87 %. De estos resultados se desprende que prácticamente la diferencia en el consumo del reactivo cianuro frente al reactivo Gold Max es de 2.55 Kg/TM. Considerando los costos en el mercado y los beneficios de los reactivos como muestran en la tabla N° 40, se deberán evaluar sus bondades, tanto como facilidades de compra dependiendo del interesado a adquirir; sin embargo, se observa que el costo del reactivo del cianuro es de 97.92 S/. *Kg/TM y del Gold Max es de 84.15 S/. *Kg/TM, habiendo una diferencia favorable para el uso del reactivo Gold Max de 13.77 Soles. El Análisis Costo - Beneficio demuestra que implementando una planta piloto de 50 TMD el reactivo cianuro costará S/. 4896.00 y el reactivo Gold Max costará S/.4207.00, habiendo un saldo favorable de S/. 689.00 por día. En tal razón se puede



observar que es factible operar con Gold Max teniendo como referencia el costo operativo ya que se trabajara con alta capacidad de tonelaje de mineral y ante la oferta en el mercado de nuevos reactivos que reemplazan al cianuro, se recomienda la realización de pruebas metalúrgicas con el reactivo ecológico Gold Max, donde sus relaves no generan impactos ambientales significativos.

Así mismo observado el MSDS del Gold Max en el aspecto operativo el reactivo Gold Max es similar que el cianuro de sodio, diferenciándose en el compuesto químico por los complejos: Na_2O , NH_4 , Ca, N y Fe (compuestos utilizados como fertilizantes), sin embargo, el cianuro de sodio contiene: Na, C y N (complejos fuertes); en tal sentido son estos compuestos que hacen al Gold Max sea un reactivo ecológico a comparación del CNNa .

Finalmente, el Gold MAX es un producto muy estable que puede almacenarse durante largos periodos de tiempo sin degradarse siempre que esté protegido de factores como la luz solar y la lluvia. Este insumo no requiere de fiscalización o control Policial ni SUNAT. Por lo que es más flexible a comparación de otros productos lixivantes de mayor control como es el Cianuro de sodio.



V. CONCLUSIONES

- Las pruebas preliminares de lixiviación por agitación con cianuro muestran que el valor máximo de recuperación del oro es del 81.15 % en 48 horas a una concentración de 2g/L , 12 Ph y 80% - #200; utilizando el Gold Max muestran que el valor máximo de recuperación del oro es del 93.95 % en 48 horas a una concentración de 0.75 g/L , 12 Ph y 80% - #200, resultados que distan mucho de ser óptimos y por lo que es necesario considerar al hacer el diseño experimental las variables de concentración, Ph y tiempo de lixiviación.
- Las pruebas de recuperación de oro con Gold Max en la lixiviación de minerales auríferos oxidados por agitación de la Minera Pucará – Región Puno, que se obtuvieron por diseño experimental demuestran que el porcentaje de recuperación de oro en solución alcanza un máximo de 94.87 % y bajo consumo de reactivo de 5.61Kg/TM a una concentración de 0.5 g/l, Ph:12 y tiempo de lixiviación: 48 horas y el porcentaje de recuperación con cianuro es 97.5 % con un consumo de reactivo de 8.16 Kg/TM a una concentración de 1.0 g/l, Ph: 12 y tiempo de lixiviación 48 horas. Se concluye que el cianuro de sodio es más eficiente a nivel de recuperación; sin embargo, se busca una mejora y optimización en el uso del reactivo Gold Max, ya que reducen en gran medida el impacto ambiental.
- El costo del reactivo del cianuro es de 97.92 S/. *Kg/TM y del Gold Max es de 84.15 S/. *Kg/TM, habiendo una diferencia favorable para el uso del reactivo Gold Max de 13.77 Soles. El Análisis Costo – Beneficio demuestra que implementando una planta piloto de 50 TMD el reactivo cianuro costará S/. 4896.00 y el reactivo Gold Max costará S/.4207.00, habiendo un saldo favorable de S/. 689.00 por día, recomendándose la realización de pruebas metalúrgicas con el reactivo ecológico Gold Max, donde sus relaves no generan impactos ambientales significativos.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar ensayos metalúrgicos y análisis estadístico con un 85% -#200, para que así pueda favorecer en la reducción del tiempo de agitación.
- Se recomienda ejecutar pruebas comparativas para evaluar el consumo de lixiviantes reactivos variando las concentraciones de Sandioss, GoldMax y Cianuro de Sodio.
- Se recomienda implementar el uso de Gold Max en pequeña minería y minería artesanal, ya que es otra alternativa para el tratamiento de minerales auríferos, para que así pueda aminorar la contaminación del medio ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahtiainen, R., & Lundström, M. (2019). Cyanide-free gold leaching in exceptionally mild chloride solutions. *Journal of Cleaner Production*, 234, 9–17.
- Ahtiainen, R., Lundström, M., & Liipo, J. (2018). Preg-robbing verification and prevention in gold chloride-bromide leaching. *Minerals Engineering*, 128, 153–159.
- Akcil, A., Erust, C., Gahan, C. S., Ozgun, M., Sahin, M., & Tuncuk, A. (2015). Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixivants—a review. *Waste Management*, 45, 258–271.
- Ali, S., Ullah, S., Haris, M., & Iqbal, Y. (2018). Extraction of Gold From Boulangrite Ore by Ammonium Thiocyanate (NH₄SCN). *Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series A: Physical Sciences*, 61(3), 145–148.
- Arapa, M. (2019). *Lixiviación ecológica de minerales auríferos a partir del reactivo Gold Max para la pequeña minería. Tesis Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa*
- Birich, A., Stopic, S., & Friedrich, B. (2019). Kinetic investigation and dissolution behavior of cyanide alternative gold leaching reagents. *Scientific Reports*, 9(1), 1 – 10.
- Cáceres, G. (2016). *Apuntes de hidrometalurgia avanzada.*
- Carrillo, M., Delgado, J., & Córdoba, E. (2014). Lixiviación con tiourea de dos minerales auroargentíferos Santandereanos. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, 319–324.
- Chok, J. T., Harper, J. M., & Luiselli, J. K. (2005). *Introduction to functional analysis.*
- Chuquilin, C. y Rengifo, E. (2019) Influencia del Cianuro de Sodio, Goldmax y Sandioss en la recuperación de Oro por lixiviación de un mineral oxidado de Sayapullo, La Libertad. Tesis Universidad Privada del Norte, Cajamarca Perú.
- Dávila, D. F. L., Diaz, B. M. P., & Chang, E. C. (2018). Lixiviación de plata de minerales sulfurados argentíferos del complejo Marañón empleando el reactivo SANDIOSS. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1).



- Escalante, V., Domínguez, J. D., López, J. A. D., Botero, G. J., Paenza, A., Botero, G. J., Solomons, G., Anton, H., Rorres, C., & Anton, H. (2014). Diseño y análisis de experimentos. *Editorial Limusa*.
- Guo, Y., Guo, X., Wu, H., Li, S., Wang, G., Liu, X., Qiu, G., & Wang, D. (2017). A novel bio-oxidation and two-step thiourea leaching method applied to a refractory gold concentrate. *Hydrometallurgy*, 171, 213–221.
- Gutiérrez, H. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*.
- Huaco, M. (2017). *Evaluación del porcentaje de disolución de Oro en la lixiviación con Sandioss mediante diseños experimentales*.
- Layme, M. (2015). *Estudio de investigación para adsorción de oro usando resina de intercambio iónico en la planta del consorcio minero horizonte S.A.*
- Liu, X., Xu, B., Yang, Y., Li, Q., Jiang, T., Zhang, X., & Zhang, Y. (2017). Effect of galena on thiosulfate leaching of gold. *Hydrometallurgy*, 171, 157–164.
- Ma, C. J., Li, J. Y., & Liu, R. J. (2015). A review of thiocyanate hydrometallurgy for the recovery of gold. *Applied Mechanics and Materials*, 768, 53–61.
- Marsden, J., & House, I. (2006). *The chemistry of gold extraction*.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OuoV-o_Xf-EC&oi=fnd&pg=IA1&dq=Marsden+y+House&ots=Au1xZkzove&sig=NDfLx1GPiPckTY0HKVfSOME0IQ4
- Mendo, D.(2016). *Efecto de la concentración de cianuro y la granulometría de un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación. Cachachi-Cajamarca 2016*.
- Merizalde, J. y Vivanco, B. (2020) *Recuperación de Oro en la lixiviación alcalina por agitación utilizando Goldmax como agente alternativo al Cianuro de Sodio*. Tesis Universidad Técnica de Machala. Carrera de Ingeniería Química. Ecuador.
- Mina, J. A., & Mercado, R. P. (1995). Optimización por Diseños Experimentales. *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONCYTEC, Impreso En Lima-Perú*.
- Misari, F. (2010). Metalurgia del oro. *Lima: San Marcos EIRL*.



- Mohammadi, E., Pourabdoli, M., Ghobeiti-Hasab, M., & Heidarpour, A. (2017). Ammoniacal thiosulfate leaching of refractory oxide gold ore. *International Journal of Mineral Processing*, 164, 6–10.
- Molina, A. (2021) Uso de Gold Max en la lixiviación de Oro y Plata en la zona minera de Rinconada – Puno. Tesis Posgrado Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Perú
- Montgomery, D. C., & Verbeeck, D. V. (2004). *Control estadístico de la calidad* (Issue 658.562 M66 2004.). Limusa Wiley.
- Olyaei, Y., Noparast, M., Tonkaboni, S. Z. S., Haghi, H., & Amini, A. (2019). Response of low-grade gold ore to cyanidation and thiourea leaching. *Particulate Science and Technology*, 37(1), 86–93.
- Padierna, J., & Zegarra, Y. (2016). *Recuperación de oro utilizando “Sandioss” como alternativa al “cianuro de sodio” en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido, sulfuro y carbonáceo.*
- Royal Chemical del Perú S.A.C. (2016). *Ficha Técnica del reactivo Goldmax.* <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/636>
- Saavedra, L. (2022) Aplicación del reactivo GoldMax para la lixiviación de oro en la unidad minera Pucamarca – Tacna. Tesis Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales
- Santamaría, J., Torres, R., Parra, M., & Ortiz, C. (2013). Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 22(34), 97–103.
- Seisko, S., Lampinen, M., Aromaa, J., Laari, A., Koironen, T., & Lundström, M. (2018). Kinetics and mechanisms of gold dissolution by ferric chloride leaching. *Minerals Engineering*, 115, 131–141.
- Sitando, O., Dai, X., Senanayake, G., Nikoloski, A. N., & Breuer, P. (2020). A fundamental study of gold leaching in a thiosulfate-oxygen-copper system in the presence of activated carbon. *Hydrometallurgy*, 192, 105232.
- Suero Iquiapaza, P. A. (2018). *Introducción a la hidrometalurgia.*



ANEXOS



Anexo 1. Resultados de laboratorio CMP - 905



**LABORATORIO QUIMICO METALURGICO
RESULTADOS DE ENSAYES**

CMP - 905

Nombre YELTSIN CLAUDIO MAMANI ASCENCIO

VERSION CMP-004

Recepcion 18 de diciembre del 2021

Realizacion 18 de diciembre del 2021

Muestra Mineral Aurifero Oxidado

METODO DE ENSAYO

Determina de oro por metodo Newmont, fundicion y copelacion.

Codigo Interno	Nombre de la Muestra	Procedencia	Descripcion	(+)150	(-)150	Promedio
				g/TM	g/TM	g/TM
CMP-00877	Mineral Aurifero Oxidado	no especificada	Mineral Aurifero Oxidado	6.979	27.914	34.893

El laboratorio no realizo la toma de muestras

Fin del informe



GERSON ENRIQUE ZEGARRA ZEGARRA
INGENIERO METALURGISTA
CIP N° 222824



Anexo 2. Resultados de laboratorio CMP - 588



LABORATORIO QUIMICO METALURGICO RESULTADOS DE ENSAYES

CMP - 588

VERSION CMP-005

Nombre YELTSIN CLAUDIO MAMANI ASCENCIO

Recepcion 6 de enero del 2022

Realizacion 7 de enero del 2022

METODO DE ENSAYO

Determinacion de Plata en solucion cianura por metodo chiddy - via clasica de fundicion y copelacion

Codigo Interno	Nombre de la Muestra	Procedencia	Descripcion	Au mg/l
CMP-00154	Prueba Gold Max 1	lab. Met.	Sol. Aurifera	7.73
CMP-00155	Prueba Gold Max 2	lab. Met.	Sol. Aurifera	11.03
CMP-00156	Prueba Gold Max 3	lab. Met.	Sol. Aurifera	11.39
CMP-00157	Prueba Gold Max 4	lab. Met.	Sol. Aurifera	12.96
CMP-00158	Prueba Gold Max 5	lab. Met.	Sol. Aurifera	12.49
CMP-00159	Prueba Gold Max 6	lab. Met.	Sol. Aurifera	13.64
CMP-00160	Prueba Gold Max 7	lab. Met.	Sol. Aurifera	14.15
CMP-00161	Prueba Gold Max 8	lab. Met.	Sol. Aurifera	13.47

El laboratorio no realizo la toma de muestras

Fin del informe

CEPROMET MIENRA PORVENIR S.A.C. Av. Ramón Castilla 701 – Urb. Francisco Bolognesi Cayma - Arequipa 054-458897


Gerson E. Zegarra Z.
CIP. 222824
INGENIERO METALURGISTA



Anexo 3. Resultados de laboratorio CMP- 589



LABORATORIO QUIMICO METALURGICO RESULTADOS DE ENSAYES

CMP - 589

VERSION CMP-005

Nombre YELTSIN CLAUDIO MAMANI ASCENCIO

Recepcion 7 de enero del 2022

Realizacion 8 de enero del 2022

METODO DE ENSAYO

Determinacion de Plata en solucion cianura por metodo chiddy - via clasica de fundicion y copelacion

Codigo Interno	Nombre de la Muestra	Procedencia	Descripcion	Au mg/l
CMP-00170	Prueba Cianuro 1	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	12.61
CMP-00171	Prueba Cianuro 2	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	13.27
CMP-00172	Prueba Cianuro 3	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	12.31
CMP-00173	Prueba Cianuro 4	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	11.58
CMP-00174	Prueba Cianuro 5	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	13.68
CMP-00175	Prueba Cianuro 6	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	13.64
CMP-00176	Prueba Cianuro 7	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	14.54
CMP-00177	Prueba Cianuro 8	lab. Met.	Sol. Aurifera cianurada	13.85

El laboratorio no realizo la toma de muestras

Fin del informe

CEPROMET MIENRA PORVENIR S.A.C. Av. Ramón Castilla 701 – Urb. Francisco Bolognesi Cayma - Arequipa 054-458897


Gerson E. Zegarra Z.
CIP. 222824
INGENIERO METALURGISTA

Anexo 4. Hoja de información gold Max

Traducir esta página

Seleccionar idioma ▼ Con la tecnología de Traductor de Google

AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO

INICIO EL PRODUCTO VENTAJAS FICHA TÉCNICA GOLDMAX EN AMÉRICA CONTACTANOS

Lixivianante GoldMAX

La minería moderna debe cumplir con estándares ambientales cada vez más elevados y trabajar con mayor ahínco sus relaciones con sus comunidades vecinas. Para cumplir ambos retos es necesario promover la innovación de aquellos procesos mineros que generan residuos altamente contaminantes.

En este contexto aparece **GoldMAX®**, un nuevo y revolucionario lixivianante ecológico para el oro y otros metales que desplazará al tradicional y nocivo cianuro de sodio (NaCN) cuyo uso es complejo y temido por las poblaciones aledañas.

GoldMAX® representa una evolución para la minería aurífera porque permite realizar procesos de lixiviación más eficientes pero con un menor impacto ambiental pues se trata de un producto de muy baja toxicidad. Este lixivianante es un producto innovador, seguro, eficiente y económico. Este lixivianante ofrece ventajas muy superiores al cianuro y a otros lixivianantes que han aparecido en los últimos años.

ROYAL CHEMICAL DEL PERÚ ha lanzado **GoldMAX®** inicialmente al mercado sudamericano y está logrando una gran acogida por parte de grandes empresas. En un corto plazo se espera que la mayoría de mineras acojan este innovación que abre las puertas a una minería realmente "amigable con el ambiente" y a la producción "ecológica" del oro.

Asistencia en Línea!

Gold MAX®
AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y PARÁMETROS PARA REALIZAR PRUEBAS CON LIXIVIANTE Gold MAX®



GRANULOMETRÍA	(93-96% -200 MALLAS)	CONTROL DE LIXIACIÓN	TIEMPO	TEMPERATURA AMBIENTAL RECOMENDABLE	
FUERZA GOLDMAX RECOMENDABLE	300 PPM - 400 PPM		2 HORAS	11oC	40oC
DENSIDAD DE PULPA	30% - 35% SÓLIDOS		5 HORAS	PROCESO DE TITULACIÓN	
TIEMPO AGITACIÓN RECOMENDABLE	20 A 35 HORAS - MÁS CORTO QUE CON CIANURO		8 HORAS		
pH-OPERACIÓN	11 A 12		12 HORAS	NITRATO DE PLATA - (En Solución)	4.33 GR/LT
REGULADOR pH	CAL Y/O SODA CAUSTICA (NAOH)		18 HORAS	IODURO DE POTASIO - (En solución al 5%)	3 GOTAS
		CONTROL - OPCIONAL	24 HORAS	TAMAÑO DE ALICUOTA	25 ML
			30 HORAS		
			35 HORAS		
			40 HORAS		

METODO RECUPERACIÓN DE SOLUCIONES RICAS SEGÚN LOS CONTENIDOS DE PLATA OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES PARA LIXIVIACIONES CON GOLDMAX®

CARBÓN ACTIVADO (CIP - CIL)	POLVO DE ZINC (MERRILL CROWE)	<p>PARA REALIZAR PRUEBAS DE LABORATORIO TOMAR 1 KG DE MINERAL Y MOLER CON 500 ML DE AGUA EL TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR MOLINDA FINA (> 90%), RETIRAR Y LLEVAR A TANQUE AGITADOR DE LABORATORIO, DONDE COMPLETARA AGUA PARA TENER 30-35% SÓLIDOS, AGREGAR CAL HASTA CONSEGUIR PH = 12, Y DEJAR QUE SE ESTABILICE POR 2 HORAS Y NO AGREGAR NADA MÁS, LUEGO MEDIR PH NUEVAMENTE, ES PROBABLE EL PH HAYA DESCENDIDO ALGUNOS PUNTOS, ADICIONAR MÁS CAL PARA RECUPERAR PH = 12 Y DEJAR NUEVAMENTE SIN NADA MÁS POR 45 MINUTOS A 1 HORA; SI EL PH SE MANTIENE EN 12, ES MOMENTO DE AGREGAR EL LIXIVIANTE GOLDMAX, A PARTIR DE ESTE MOMENTO RECIBIENDO LA LIXIVIACIÓN Y TAMBIÉN SE COMENZARA A CONTROLAR EL PROCESO EN FUNCIÓN AL TIEMPO, SE RETIRARÁ ALICUOTAS PARA TITULAR Y REPONER GASTO, ASIMISMO LAS ALICUOTAS RESPECTIVAS PARA CONSTRUIR LA CURVA RECUPERACIÓN VERSUS TIEMPO.</p> <p>EN OPERACIONES DE VAT - LEACHING, DEBERÁ A PROCEDERSE A AGLOMERACIÓN CON CEMENTO Y CAL, SEGÚN METODO TRADICIONAL; A LA VEZ QUE SE CURA CON FUERZA DE 400-500 PPM, LUEGO DISPONER LOS PELLETS A POZA Y ROCAR CON SOLUCIÓN DILUIDA DE GOLDMAX® A 300 PPM PARA INUNDAR Y RECIRCULAR CON BOMBA VARIAS VECES AL MENOS 7, PARA GANAR CONCENTRACION. LUEGO LLEVAR SU SOLUCIÓN RICA A RECUPERACIÓN POR CARBÓN O POLVO DE ZINC, SEGÚN SEA SU LEY DE PLATA EN SU MINERAL.</p>

CUADRO COMPARATIVO DE CONSUMOS (CIANURO VS GOLDMAX®) - EN FUNCIÓN AL TIPO DE MINERAL

TIPO DE MINERAL	CONSUMOS DE REACTIVOS	
	LIXIVIANTE GOLDMAX®	CIANURO (NACN)
ÓXIDOS	1 KG A 3KG	1 KG A 3KG
SULFURO	3 KG A 6 KG	3 KG A 6 KG
MIXTOS	SIMILAR A SULFUROS	SIMILAR A SULFUROS
RELAVES DE AMALGAMACIÓN	6 KG A 7 KG - CON BUENAS RECUPERACIONES	7 KG - 15 KG A MÁS RECUPERACIONES DEFICIENTES

SOPORTE TÉCNICO	ROYAL CHEMICAL PONE A DISPOSICIÓN DE SUS CLIENTES SOPORTE TÉCNICO CON SU STAFF DE INGENIEROS METALURGISTAS CON VISITAS A CAMPO EN PERÚ Y A OTROS PAISES DE LA REGIÓN		
CONSULTAS Y COTIZACIONES	ventas-goldmax@lixiviantegoldmax.com	ventas-mineria@royalchemical.com.pe	Central Telf: 719-3162



Gold MAX[®]

AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO

R
ROYAL
CHEMICAL
Getting Stronger With Peru
MINERALS & CHEMICALS



DTS – Gold MAX[®]

Gold MAX[®] es un producto de innovadora fórmula, fabricado con materias primas exentas de impurezas y que se utilizan en la manufactura de fertilizantes, siendo por ello un reactivo lixivante ecológico y además de favorable al medio ambiente.

Este agente de extracción de oro, puede reemplazar el tradicional uso de cianuro de sodio (NaCN), el cual es altamente tóxico y que por lo general se considera como único lixivante de Au-Ag, lo cual se verá de un enfoque distinto con este nuevo producto.

Este producto representa un logro científico y tecnológico, realizado a través de ardua labor y años de investigación por expertos e instituciones de investigación científica, relevantes de nuestra empresa. Nuestro producto **Gold MAX[®]**, es de muy baja toxicidad y contribuye a preservar el medio ambiente.

Gold MAX[®] puede aplicarse desde la molienda, además de la lixiviación en tanque y el proceso de lixiviación del tipo CIP y CIL, sin mayor inconveniente, además de su total aplicación en el proceso Merrill Crowe.

Como es sabido actualmente el 85% del oro, producido en el mundo se extrae mediante el uso de procesos de cianuración. Para hacer frente a la contaminación de productos altamente tóxicos como el cianuro, expertos investigadores de prestigiosas entidades de el extranjero, han llevado a cabo un gran número de experimentos e investigaciones para buscar productos de extracción de oro sin el uso de cianuro en los últimos años, buscando baja toxicidad o de ser posible toxicidad nula, pero ningún avance se ha hecho hasta el momento.

Actualmente **Gold MAX[®]** agente de extracción de oro, se plantea como la solución definitiva a esta problemática ofreciendo a el rubro minero, un lixivante eficaz, de bajo consumo, que ofrece alta recuperación de oro muy similar a la que se obtiene con el Cianuro, y a un precio razonable para hacer viable cualquier operación basado en el costo-beneficio.

Poseidón Mz. 20, lote 04 - Santiago de Surco.
Av. 5 de Abril Maz. G Lt. 04 Zona Industrial, Carabayllo, Lima 39 - Perú
Teléfonos: (511) 719 3162 / 719 3163 RPM: #942 040 340 / #966 892 963
royalchemical@royalchemical.com.pe ventas_mineria@royalchemical.com.pe
investigaciones-metalurgicas@royalchemical.com.pe www.royalchemical.com.pe



Síguenos en



www.lixivianteGoldMAX.com

FICHA TÉCNICA

Gold MAX[®]

AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO



DTS – Gold MAX[®]

NOTA: Este producto no contiene ninguna forma de NaCN .

Nuestros productos han pasado las pruebas y evaluación de los servicios técnicos interesados.

1. Los productos de baja toxicidad: LD50 oral aguda = 50.1mg / kg en ratones. El Centro de Prevención y Control de Enfermedades ha llevado a cabo ensayos de toxicidad, cuyo resultado es DL50 oral aguda es 50.1mg / kgBW, una menor toxicidad que la soda cáustica (DL50 de la soda cáustica es de 40 mg / kgBW).

2. Protección del Medio Ambiente

Análisis Ambiental y Centro de Pruebas de Protec-

ción Ambiental Consulting Co., Ltd realizaron análisis y pruebas sobre la toxicidad de lixiviación de los residuos después del uso de los productos, el resultado de lo que muestra que los relaves mineros después de la pulverización satisfacen el requisito de la protección del medio ambiente, y reducen el envenenamiento del medio ambiente significativamente.

3. Conveniente para el transporte

Nuestros productos pueden ser transportados con seguridad por aire, ferrocarril, carretera y mar.

Composicion sobre los componentes

Descripción: Mezcla formada por las sustancias especificadas a continuación con adiciones

Componentes	CAS número	Aproximado (%) por peso.
óxido de sodio (Na ₂ O)	1313-59-3	35-50%
nitrógeno (N)	7727-37-9	12-20%
amonio (NH ₄)	14798-03-9	7-12%
Humedad (H ₂ O)	7732-18-5	1-4%
Calcio (Ca)	7440-70-2	1-5%
Hierro (Fe)	7439-89-6	1-5%
Substancia insoluble en agua	—	3-8%

Uso del producto:

Gold MAX[®], Agente de extracción de oro , es aplicable en minerales de óxido de oro y plata, mineral de sulfuro, relaves de mineral , puede aplicarse en lixiviación en pilas (Heap Leaching , Vat Leaching) , Lixiviación en pozas – estanque de inmersión, (lixiviación agitación CIP – CIL) y el proceso es idéntico a la producción cuando se usa cianuro de sodio .

Poseidón Mz. 20, lote 04 - Santiago de Surco.

Av. 5 de Abril Maz. G Lt. 04 Zona Industrial, Carabaylla, Lima 39 - Perú

Teléfonos: (511)719 3162 / 719 3163 RPM: #942 040 340 / #966 892 963

royalchemical@royalchemical.com.pe ventas_mineria@royalchemical.com.pe

investigaciones_metalurgicas@royalchemical.com.pe www.royalchemical.com.pe




Síguenos en



www.lixivienteGoldMAX.com



Anexo 5. Informe de ensayo de calidad de Gold Max.



INFORME DE ENSAYO
SA1501446

Página 1 de 3

A solicitud de:	ROYAL CHEMICAL DEL PERU SAC Calle Poseidón Mz 20 Lt 4 Surco	
Por cuenta de:	ROYAL CHEMICAL DEL PERU SAC Calle Poseidón Mz 20 Lt 4 Surco	
Producto:	POLVO	Cantidad Muestras: 1
Tipo de Análisis:	PREPARACION Y ANALISIS QUIMICO	Fecha de Recepción: 18/12/2015
Localidad de preparación:	CALLAO	Fecha de Ensayo: Del 18/12/2015 Al 28/12/2015
Descripción del Estado y Condición de la Muestra:	En bolsas de plástico selladas Aparentemente intactas. Peso de 195.57 g seca.	
Referencia Cliente:	OL224800-01 Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	
Notas:		

Esquema	Método
ICM40B	SGS-MN-ME-138 / Agosto 2013 Rev. 02 / Muestras de Exploración Geoquímica - Digestión Multiácida ICP-MS.
CVA14C	SGS-MN-ME-132 / Mayo 2014 Rev. 06 / Muestras de Exploración Geoquímica: Mercurio - Arrastre de vapor frío.
PML_CH	Peso de Muestra Recibido
PML_M140	ASTM E 276-68 / Particle Size or screen analysis at N°4 (4.75-mm) Sieve and finer for Metal bearing ores and related materials

Elemento	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B
Unidad	%	ppm	%	ppm	ppm	%
Limite de Detección	0.01	5	0.01	1	0.5	0.01
POLVO Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.04	<5	0.04	86	0.5	2.18
POLVO *DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.03	<5	0.04	77	<0.5	2.13

Elemento	K	Li	Mg	Mn	Na	P
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B
Unidad	%	ppm	%	ppm	%	ppm
Limite de Detección	0.01	1	0.01	5	0.01	50
POLVO Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.02	1	<0.01	8	>15.00	<50
POLVO *DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.02	1	<0.01	6	>15.00	<50

Elemento	S	Sr	Ti	V	Zn	Zr
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B
Unidad	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm
Limite de Detección	0.01	0.5	0.01	1	1	0.5
POLVO Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.02	2.3	<0.01	2	4	9.0
POLVO *DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.02	2.0	<0.01	1	3	9.7

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 | www.sgs.pe
 Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



SGS

INFORME DE ENSAYO
SA1501446

Página 2 de 3

Elemento	Ag	As	Be	Bi	Cd	Ce	
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Limite de Detección	0.02	1	0.1	0.04	0.02	0.05	
POLVO	Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.06	<1	<0.1	<0.04	0.04	0.17
POLVO	*DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.05	<1	<0.1	<0.04	0.02	0.12

Elemento	Co	Cs	Ga	Ge	Hf	In	
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Limite de Detección	0.1	0.05	0.1	0.1	0.02	0.02	
POLVO	Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.5	<0.05	0.2	<0.1	0.19	<0.02
POLVO	*DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.6	<0.05	0.1	<0.1	0.23	<0.02

Elemento	La	Lu	Mo	Nb	Ni	Pb	
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Limite de Detección	0.1	0.01	0.05	0.1	0.5	0.5	
POLVO	Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.1	<0.01	8.34	0.1	10.1	2.3
POLVO	*DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.1	<0.01	7.87	0.1	10.0	2.0

Elemento	Rb	Sb	Sc	Se	Sn	Ta	
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Limite de Detección	0.2	0.05	0.1	2	0.3	0.05	
POLVO	Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	<0.2	0.16	0.2	<2	0.3	0.12
POLVO	*DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	<0.2	0.10	0.1	<2	<0.3	0.17

Elemento	Tb	Te	Th	Tl	U	W	
Esquema	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Limite de Detección	0.05	0.05	0.2	0.02	0.1	0.1	
POLVO	Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	<0.05	<0.05	<0.2	<0.02	<0.1	0.3
POLVO	*DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	<0.05	<0.05	<0.2	<0.02	<0.1	0.2

Elemento	Y	Yb	Hg	Peso Muestra	P_MEN140	
Esquema	ICM40B	ICM40B	CVA14C	PMI_CH	PMI_M140	
Unidad	ppm	ppm	ppm	g	%	
Limite de Detección	0.1	<0.1	0.005			
POLVO	Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.1	<0.1	0.008	195.6	98.80
POLVO	*DUP Muestra de Polvo Granular (Goldmax)	0.1	<0.1	0.007	--	--

00001310

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900

www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



SGS

**INFORME DE ENSAYO
SA1501446**

Página 3 de 3

Emitido en Callao-Perú el , 28/12/2015


Edgar Zárate Aguilar
Supervisor de Laboratorio
C.I.P. 22151

LUJIA 310

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 www.sgs.pe
Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Anexo 6. Fotos de pruebas de laboratorio.



Reactivo alternativo Gold MAX.



Reactivo alternativo Gold MAX.



Análisis de Mineral método de fundición



Copelación de régulos para el análisis de Oro



Análisis de soluciones método chiddy.



Anexo 7. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Yelvis Claudio Mamani Ascencio
identificado con DNI 73041603 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Metalúrgica

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"Innovación con Goldmax Minerales Dujeynos Oxidados por Digestión para mejorar
la recuperación de oro del flotamiento Mismo Socsam de Pucara Puno - 2021"

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 22 de Abn11 del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 8. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Yelsim Claudio Mamani Asconia
identificado con DNI 73041603 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Mecánica

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"Iniciación con Golemax Mentes Anísimas Oxidadas Por Digitación Para mejorar la recuperación de oro del Yacimiento Minero Sacam de Pucara - PUNO - 2021"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 22 de Diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella